

Nicht weniger – sondern mehr

Ökologische Risiken der neuen Gentechnik

von Martha Mertens

Neue Gentechnik, auch Genome Editing genannt, wird aktuell intensiv beworben, denn mit ihr sollen vielfältige Probleme der Landwirtschaft gelöst werden. Die mit neuen Verfahren wie CRISPR/Cas9 erzeugten gentechnisch veränderten Organismen (GVO) sollen auch unter Bedingungen des Klimawandels hohe Erträge bringen sowie bessere Lebensmittel und maßgeschneiderte Rohstoffe für die Wirtschaft liefern. Da die Stelle der gentechnischen Veränderung präziser zu adressieren sei als bei der bisherigen Gentechnik, soll die Nutzung der neuen Superpflanzen mit weniger Risiken für Mensch und Umwelt verbunden sein. Dies ist zu hinterfragen, wie wissenschaftliche Studien zeigen. Da auch die neuen Gentechniken Risiken bergen, dürfen die gentechnikspezifischen Regelungen, wie sie in der EU gelten, keinesfalls aufgeweicht werden.

Die neuen Verfahren mit CRISPR/Cas beruhen auf der Nutzung spezifischer Nukleasen (Genschere), die die DNA an bestimmten Stellen schneiden. Über die zell-eigene Reparatur des Doppelstrangbruchs werden Mutationen erzeugt, die zum Ausschalten (*knock-out*) oder zu veränderter Wirkung von Genen führen können. Werden gleichzeitig homologe DNA-Sequenzen eingeführt, können auch kleinere oder größere DNA-Sequenzen eingebaut werden, bis hin zu ganzen Genen.¹ Grundlage der neuen Gentechnik ist in aller Regel die alte Gentechnik, da die Gene für die Genschere in die Pflanzenzellen eingebracht werden müssen – dies geschieht beispielsweise mithilfe gentechnisch veränderter Bakterien. Im weiteren Verlauf der Züchtung sollen dann die eingebauten Transgene aus den zu nutzenden Pflanzen wieder entfernt werden. Alle diese Prozessschritte bergen spezifische Risiken.

Das Versprechen, mittels CRISPR/Cas ließen sich Pflanzen (und andere Organismen) präzise verändern, führte zu einem enormen Anstieg an Forschungsprojekten.² Es geht dabei inzwischen nicht mehr nur um die in der alten Gentechnik besonders wichtigen Pflanzen Soja, Baumwolle, Mais und Raps, sondern auch um Reis, Weizen oder Kartoffeln. Hinzu kommen Projekte der gentechnischen Veränderung von Gemüsearten, vor allem der Tomate, und mehr und mehr auch von Obstbäumen, Zierpflanzen und verschiedenen Gehölzarten. Die angestrebten Eigenschaften reichen von der aus der alten Gentechnik

sattsam bekannten Herbizidresistenz über Ertragssteigerung, Resistenz bzw. Toleranz gegen biotische (Krankheitserreger) und abiotische (Hitze, Trockenheit, Kälte, Nässe) Stressfaktoren bis zu höherer Lebensmittelqualität und veränderter Blütenfarbe bei Blumen. Auch die Verbesserung von Lebensmitteln wird versprochen, beispielsweise die Entfernung von Allergenen oder schädlichen Inhaltsstoffen. Im Fokus stehen jedoch die in Monokulturen auf großen Flächen angebauten *cash crops* und agronomisch sowie industriell nutzbare Eigenschaften.³ Gänzlich neu sind Überlegungen, Gentechnik im Naturschutz einzusetzen, um etwa durch die Veränderung ganzer Wildpopulationen bestimmte Naturschutzziele wie die Bekämpfung invasiver Arten zu erreichen.

Neue Pflanzen – präzise, perfekt und sicher?

Eines der meistgenannten Argumente pro neuer Gentechnik ist ihre vermeintliche Präzision hinsichtlich des Ortes der gentechnischen Veränderung. Doch ein präziseres Adressieren des Genomortes bedeutet nicht unbedingt, dass die entstehende Veränderung ohne Risiko ist. Eine Fülle wissenschaftlicher Arbeiten zeigt, dass sowohl am Zielort der Veränderung (*on-target*) als auch an anderen Stellen des Genoms (*off-target*) unerwartete Effekte möglich sind. Es kann so zur Bildung veränderter Proteine und Produkte kommen, die den Pflanzenstoffwechsel beeinflussen und neue,

unbekannte, zumeist unerwünschte Eigenschaften mit sich bringen.⁴ Zudem unterscheiden sich CRISPR/Cas-induzierte Veränderungen von natürlicherweise vorkommenden Mutationen: Mit CRISPR/Cas lassen sich auch besonders geschützte Genregionen und alle Kopien eines Gens verändern, sogar mehrere Veränderungen gleichzeitig sind möglich (*multiplexing*). Auch die Kopplung eng benachbarter Gene lässt sich unterbrechen. Neue Gentechnik kann so zu Organismen mit neuen Kombinationen von Eigenschaften führen, die bislang nicht möglich waren.

Ist, wie in den meisten Fällen, die alte Gentechnik weiter im Spiel, erfolgt die Integration der Gene für die Genscheren nach dem Zufallsprinzip. Nicht steuern lässt sich, an welcher Stelle und wie viele Kopien der Transgenkassette ganz oder teilweise integriert werden und wie sich die Integrationsorte verändern.⁵ Transgensequenzen können in genomeditierten Pflanzen verbleiben und lassen sich bei Integration an verschiedenen Genomorten nicht ohne weiteres durch Kreuzung entfernen.⁶

Die mit neuen GVO und deren neuen Eigenschaften verbundenen ökologischen Risiken sind mindestens denen der bisherigen GVO vergleichbar. Dabei geht es einerseits um technikbedingte Risiken wie On-Target- und Off-Target-Effekte sowie Positionseffekte am Einbauort der Transgene (siehe oben). Es geht aber immer auch um die angestrebten neuen Eigenschaften. Diese sind zahlreich und vielfältig und möglicherweise in der jeweiligen Pflanzenart nicht erprobt. Wesentlich mehr Pflanzenarten als bisher sollen verändert und nicht selten mit mehr als einer Eigenschaft versehen werden.

All dies stellt die Risikoabschätzung vor besondere Herausforderungen, zumal Ergebnisse aus dem Labor bzw. Gewächshaus nicht unmittelbar auf das Freiland übertragbar sind, weil sich GVO im Freiland und unter Stressbedingungen häufig anders verhalten. Deshalb wird eine verbesserte Umweltrisikoprüfung gefordert:⁷ Zu prüfen ist beispielsweise, ob unbeabsichtigte Veränderungen im Umfeld der Zielorte oder Off-Target-Effekte im vermarktungsfähigen Saatgut auftreten; letzteres ist besonders wichtig für Pflanzenarten mit langen Generationszyklen wie Bäume. Auch die neuen Kombinationen von Eigenschaften und Pflanzenart müssen eingehender geprüft werden, da kein Erfahrungswissen besteht. Schließlich müssen sekundäre Effekte und indirekte Wirkungen auf Agrarsysteme stärker beachtet werden.

Auch weiterhin Herbizid- und Insektenresistenz

Die alte Gentechnik produzierte im Wesentlichen zwei Eigenschaften: Herbizidresistenz und Insektenresistenz. Die neue Gentechnik verlässt diesen Pfad

nicht. Dabei sind die negativen ökologischen Auswirkungen des Anbaus herbizidresistenter GVO lange bekannt: Der Verlust der Wildpflanzen nimmt Insekten, Vögeln und anderen Tieren die Nahrungsgrundlage. Das zumeist eingesetzte Glyphosat ist zudem toxisch für das Bodenleben und viele terrestrische und aquatische Organismen und steht im Verdacht, krebs-erregend zu sein. Die Anpassung von immer mehr Beikrautarten an die Spritzmittel erhöht den an sich schon enormen Herbizidverbrauch weiter massiv.⁸ Auch können sich verwilderte resistente GVO unter Herbizidabdrift außerhalb von Äckern etablieren,⁹ sich mit verwandten Arten kreuzen und aufgrund der mit der Resistenz verbundenen physiologischen Veränderung möglicherweise sogar ganz ohne Glyphosat-abdrift überlebensfähiger gegenüber anderen Pflanzen werden.¹⁰ Der Anbau insektenresistenter GVO zeigt übrigens ebenfalls, dass sich die Schadinsekten relativ rasch an die neuen Giftstoffe anpassen – und deshalb der Insektizideinsatz weiterhin hoch bleibt. Zudem schädigen die beispielsweise im Bt-Mais gebildeten Toxine zahlreiche Nichtzielorganismen, was 2009 zum Anbauverbot in Deutschland führte.

Krankheitsresistente und stresstolerante Pflanzen

Gesucht wird die Superpflanze der Zukunft, die nicht nur resistent gegen Pathogene ist (und so zur Einsparung von Pestiziden führen soll), sondern angesichts des Klimawandels auch tolerant ist gegen abiotischen Stress wie Trockenheit und Hitze, hohen Salzgehalt, Überflutung und Kälte. Neue GVO sollen rascher wachsen und mehr Ertrag bringen.

Bekannt ist jedoch, dass Einzelresistenzen von Krankheitserregern rasch überwunden werden und das komplexe Wechselspiel zwischen Pflanzen und Erreger auch von Umweltbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit oder CO₂-Konzentration abhängig ist.¹¹ So kann mehr CO₂ in der Luft nicht nur die Photosyntheseleistung und den Ertrag von Pflanzen steigern, sondern auch deren Empfindlichkeit gegen Pilze bzw. die Pathogenität der Pilze erhöhen.¹² Wie weit Pathogenresistenzen unter Bedingungen des Klimawandels mit höheren Temperaturen und CO₂-Gehalten stabil sind und wie sie sich auswirken werden, ist demzufolge schwer vorherzusagen. Auch können Pilzresistenzen das Wachstum und Altern der Pflanzen beeinflussen oder gegen andere Schadpilze anfälliger machen¹³ sowie das Wechselspiel zwischen natürlicher Mikroflora und Pflanzen verändern.¹⁴ Wie stabil Pilzresistenzen bei breiter Nutzung sein können, ist offen. Dies gilt auch für Resistenzen gegen Viren, denn die hohen Mutationsraten von Viren lassen vergleichsweise leicht neue Virustypen entstehen.¹⁵

Auch Stresstoleranz und Wachstum sind durch viele Gene und intensive Interaktionen zwischen Pflanzen und Umwelt gesteuerte Prozesse, die auf verschiedenen Ebenen reguliert werden. Einzelne Gene zeigen ein breites Spektrum an Wirkungen, die Effekte ihrer Veränderung sind deshalb besonders schwer vorherzusagen.¹⁶ Zudem sind »Stressgene« zumeist nicht spezifisch für einen Stressfaktor und verbunden mit weiteren Stoffwechselwegen wie der Abwehrreaktion gegen Pathogene.¹⁷ Diese komplexen Mechanismen erklären vermutlich auch, warum die bisherige Gentechnik keine stresstoleranten Pflanzen hervorbrachte.¹⁸ Hingegen ist hier die klassische Züchtung durchaus erfolgreich.¹⁹

Sollte Stresstoleranz Pflanzen fitter, wuchskräftiger und langlebiger machen, wäre mit mehr Nachkommen zu rechnen sowie beschleunigter vegetativer Vermehrung. Insbesondere Pflanzen, die zur Verwilderung neigen, könnten sich dann möglicherweise leichter ausbreiten. Dies könnte auch für Nachkommen einer Kreuzung von stresstoleranten Kultur- und Wildpflanzen gelten. Eine höhere Kältetoleranz erleichtert beispielsweise die Überwinterung von Pflanzenteilen und Samen, was den Durchwuchs in Folgejahren begünstigt, der wiederum häufig mit Herbiziden bekämpft wird. Auch könnten Kulturpflanzen in Regionen angebaut werden, in denen ihr Anbau bislang nicht üblich war, mit der Folge, dass sich neue Kreuzungsmöglichkeiten mit Wildpflanzen ergeben. Sollte es sich bei GVO mit Stresstoleranz und/oder höherem Wachstumspotenzial nicht mehr nur um einjährige Ackerpflanzen handeln, sondern um mehrjährige Pflanzen oder gar Bäume mit einer Lebensdauer von Jahrzehnten bis Jahrhunderten, ließen sich Effekte einer höheren Fitness noch wesentlich schwerer abschätzen. Denn die Erfahrung mit eingeführten Arten lehrt, dass es viele Jahre dauern kann, bis sich eine in einem Ökosystem neue Art negativ auf dessen Artenvielfalt auswirkt bzw. dies erkannt wird.²⁰

Veränderte Inhaltsstoffe

In einigen Projekten sollen in GVO weniger oder mehr der mehrfach ungesättigten Fettsäuren gebildet werden. Auf den ersten Blick erscheinen solche durch CRISPR/Cas bewirkte Veränderungen unproblematisch, doch ein zweiter Blick ist ratsam, wie Studien zeigen. Denn Fettsäuren sind nicht nur wichtige Bestandteile der Zelle, sondern auch wichtig bei der Reaktion auf biotischen und abiotischen Stress. Am Beispiel des Kreuzblütlers Leindotter (*Camelina sativa*) untersuchte Katharina Kawall²¹ die vielfältigen Effekte, die mit der Veränderung des Fettsäurestoffwechsels verbunden sein können. Sie fand heraus, dass nicht nur die Bildung von sekundären Inhaltsstoffen/Hor-

monen, sondern auch Wachstum und Stresstoleranz der Pflanzen sowie ihre Nahrungsqualität für Insekten beeinflusst werden können.

Werden mittels CRISPR/Cas für Pflanzen fremde Fettsäuren (die bisher nur in aquatischen Organismen vorkommen) produziert, könnten diese sich in schwer abzuschätzender Weise auf den Stoffwechsel, aber auch auf die Interaktion und Fortpflanzung der von diesen GVO lebenden Organismen auswirken. So entwickelten sich mit Omega-3-Fettsäuren gefütterte Larven des Kohlweißlings (*Pieris rapae*) zu größeren Schmetterlingen als die Kontrolltiere, sie hatten jedoch häufig kleinere und deformierte Flügel.²² Das Risiko unerwünschter Effekte ist besonders groß, wenn es sich um Pflanzenarten handelt, die sich leicht mit Wildarten kreuzen.²³ Dies gilt auch für Ansätze, zwecks leichterer Zellstoffgewinnung den Ligningehalt von Bäumen zu verändern bzw. zu reduzieren, denn Lignine verlangsamen den Holzabbau und spielen bei der pflanzlichen Abwehr von Schadorganismen eine wichtige Rolle. Dies könnte das ökologische Gleichgewicht massiv beeinflussen.

Gentransfer: Auskreuzung und Ausbreitung

Der Anbau von GVO und viele Studien belegen: Auskreuzung der GVO lässt sich nicht verhindern und ihre unerwünschte Verbreitung findet vielfach statt. Kreuzungsfähige verwandte Wildarten kommen regelmäßig in den Ursprungsregionen der Kulturpflanzen vor. In Europa gilt dies etwa für Raps (*Brassica napus*), der sich nicht nur mit Kohl oder Rübsen kreuzen kann, sondern auch mit heimischen Wildarten. Abhängig von den durch Kreuzung übertragenen Eigenschaften könnten Wildarten so ihre Fitness steigern und/oder für die jeweiligen Ökosysteme neue Inhaltsstoffe bilden. Effekte auf die Interaktionen mit Mikro- und Bodenorganismen, Insekten und anderen Tieren wären zu erwarten. Dabei bestehen große Kenntnislücken hinsichtlich der Befruchtungsverhältnisse, Auskreuzungsdistanzen sowie der möglichen Kreuzungspartner bei vielen der für CRISPR/Cas ins Visier genommenen Arten (selten angebaute Kulturpflanzen, Zierpflanzen, mehrjährige Pflanzen oder Bäume).

Besonderes Augenmerk wäre auf Gehölze und Pflanzen zu lenken, die für Ökosysteme neue Eigenschaften aufweisen. Gehölze interagieren mit einer Vielzahl von Organismen wie Mikroorganismen, Insekten und Vögeln und spielen eine wichtige Rolle bei Prozessen, die dem Austausch chemischer Elemente zwischen Organismen und Umwelt dienen. Bäume können sich über Distanzen von mehr als zehn Kilometer auskreuzen und große Mengen an Samen bilden, die durch Wind und Tiere ebenfalls über mehrere Kilometer verbreitet werden.²⁴ Da sie sehr lang leben

und meist erst nach Jahren Nachkommen bilden, sind bei der Risikoabschätzung nicht nur sehr große räumliche, sondern auch zeitliche Distanzen zu betrachten. In Zeiten des Klimawandels ist es schwierig bis unmöglich, zu prognostizieren, wie sich die Umweltbedingungen (Temperatur, Trockenheit, Niederschläge, Stürme, Pathogene etc.), die für Auskreuzung, Samenverbreitung und Wechselwirkung mit der Umwelt entscheidend sind, entwickeln werden.

Darüber hinaus gilt: Menschliche Aktivitäten sind für die meisten absichtlichen und unabsichtlichen Einführungen fremder Arten verantwortlich. Dabei kann der Eintrag nicht nur direkt erfolgen, sondern auch über den Transport von Erde, Pflanzenabfällen, Saatgut, Baumschulmaterial oder Setzlingen. Gerade in Zeiten der Globalisierung wurde durch Handel, Transport, Reisen und Tourismus die Rate der Artenausbreitung erheblich beschleunigt, GVO machen hier keine Ausnahme. Im Vergleich zur alten Gentechnik könnten sich die mit neuen GVO verbundenen Risiken sogar erhöhen, da angesichts der Möglichkeit, mehrere Veränderungen – und damit neue Eigenschaften – gleichzeitig oder kurz hintereinander in Pflanzen zu erzeugen, die Unwägbarkeiten hinsichtlich ihrer Effekte auf Ökosysteme erheblich zunehmen. Die neue Gentechnik und die daraus entstehenden Organismen und Produkte müssen deshalb mindestens den gleichen Regelungen wie die alte Gentechnik unterworfen bleiben.²⁵

Folgerungen & Forderungen

- Neue gentechnische Verfahren müssen im Rahmen der EU-Freisetzungsrichtlinie und gemäß dem Vorsorgeprinzip gesetzlich reguliert bleiben. Die umfassende Risikobewertung auch der neuen GVO ist zwingend. Damit wird auch das EuGH-Urteil vom Sommer 2018 umgesetzt.
- Statt einer Aufweichung der Gentechnikregulierung ist vielmehr eine deutliche Ausweitung der Risikobewertung für GVO erforderlich, denn die neue Gentechnik beinhaltet spezifische Risiken wie die umfassendere und raschere Veränderung von Pflanzen.
- Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit der GVO und daraus hergestellter Produkte sind essenziell. Dies gilt auch für importierte neue GVO. Entsprechende Nachweisverfahren sind zu entwickeln.
- Die Nulltoleranz für nicht zugelassene GVO in Lebensmitteln, Futtermitteln und Saatgut ist strikt zu wahren.
- Gentechnik ist keine Antwort auf die vielfältigen Probleme der Landwirtschaft. Gebot der Stunde ist vielmehr die massive Förderung der Agrarwende und ökologischer Innovationen.

Das Thema im Kritischen Agrarbericht

- ▶ Katharina Kawall: Kleine Veränderungen – große Wirkungen. Über Anwendungsmöglichkeiten der neuen Gentechnik und deren Risiken. In: Der kritische Agrarbericht 2022, S. 299–304.
- ▶ 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 Hundsdorfer: Präzise, sicher und unentbehrlich? Argumente von Befürwortern der neuen Gentechnikverfahren auf dem Prüfstand. In: Der kritische Agrarbericht 2019, S. 298–304.
- ▶ 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 K. Kawall: Kleine Veränderungen – große Wirkungen. In: Der kritische Agrarbericht 2022, S. 299–304.
- 2 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. Version 20. März 2020 (www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Gruene-Gentechnik/NMT_Uebersicht-Zier-Nutzpflanzen.html).
- 3 Global 2000 und IG Saatgut: Blick in die Entwicklungspipeline: Neue Gentechnikpflanzen. Wien 2022 (www.global2000.at/sites/global/files/NGT_Produnkte-in-der-Entwicklungspipeline_GLOBA2000_IGSaatgut.pdf).
- 4 R. Tuladhar et al.: CRISPR-Cas9-based mutagenesis frequently provokes on-target mRNA misregulation. In: Nature Communications 10 (2019), 4056 (www.nature.com/articles/s41467-019-12028-5). – M. Kosicki, K. Tomberg and A. Bradley: Repair of double-strand breaks induced by CRISPR-Cas9 leads to large deletions and complex rearrangements. In: Nature Biotechnology 36 (2018), pp. 765–771 (www.nature.com/articles/nbt.4192). – M. Eckerstorfer et al.: An EU perspective on biosafety considerations for plants developed by genome editing and other new genetic modification techniques (nGMS). In: Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 7 (2019), 31 (www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2019.00031/full). – K. Kawall: The generic risks and the potential of SDN-1 applications in crop plants. In: Plants 10/11 (2021), 2259 (www.mdpi.com/2223-7747/10/11/2259/html).
- 5 J. R. Latham, A. K. Wilson and R. A. Steinbrecher: The mutational consequences of plant transformation. In: Journal of Biomedicine and Biotechnology (2006), 25376, pp. 1–7 (www.econexus.info/files/ENx-JBB_2006_mutational_consequence.pdf).
- 6 J.-M. Michno et al.: Integration, abundance, and transmission of mutations and transgenes in a series of CRISPR/Cas9 soybean lines. In: BMC Biotechnology (2020), 20:10 (www.link.springer.com/content/pdf/10.1186/s12896-020-00604-3.pdf).
- 7 M. Eckerstorfer et al.: Biosafety of genome editing applications in plant breeding: Consideration for a focused case-specific risk assessment in the EU. In: Biotech 10/3 (2021), 10 (www.mdpi.com/2673-6284/10/3/10).
- 8 G. Schütte et al.: Herbicide resistance and biodiversity: Agro-nomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. In: Environmental Science Europe

- (2017), 29:5 (www.enveurope.springeropen.com/counter/pdf/10.1186/s12302-016-0100-y.pdf). – M. Laforest et al.: Distribution and genetic characterization of bird rape mustard (*Brassica rapa*) populations and analysis of glyphosate resistance introgression. In: *Pest management Science* (2022) (www.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.7170).
- 9 J. Schulze et al.: Unexpected diversity of feral genetically modified oilseed rape (*Brassica napus* L.). Despite a cultivation and import ban in Switzerland. In: *PLoS One* (2014) (www.journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0114477).
 - 10 J. Fang et al.: Overexpressing exogenous 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) genes increases fecundity and auxin content of transgenic arabidopsis plants. In: *Frontiers in Plant Science* (2018) (www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00233/full).
 - 11 A. C. Velásquez, C. D. M. Castroverde and S. Y. He: Plant and pathogen warfare under changing climate conditions. In: *Current Biology* (2018), 21:28/10 (www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5967643/).
 - 12 Z. Váry et al.: The severity of wheat diseases increases when plants and pathogens are acclimatized to elevated carbon dioxide. In: *Global Change Biology* 21 (2015), pp. 2661–2669 (www.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12899).
 - 13 S. Kusch and R. Panstruga: mlo-based resistance: An apparently universal »weapon« to defeat powdery mildew disease. In: *Molecular Plant-Microbe Interactions* 30 (2017), pp. 179–189 (www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28095124/). – G. McGrann et al.: A trade-off between mlo resistance to powdery mildew and increased susceptibility of barley to a newly important disease, *Ramularia* leaf spot. In: *Journal of Experimental Botany* 65/4 (2014), pp. 1025–1037 (www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24399175/).
 - 14 S. Hacquard et al.: Interplay between innate immunity and the plant microbiota. In: *Annual Review of Phytopathology* 55 (2017), pp. 565–589 (www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-phyto-080516-035623).
 - 15 D. Mehta et al.: Linking CRISPR-Cas9 interference in cassava to the evolution of editing-resistant gemini viruses. In: *Genome Biology* 20 (2019), 80 (www.doi.org/10.1186/s13059-019-1678-3).
 - 16 D. C. Haak et al.: Multilevel regulation of abiotic stress responses in plants. In: *Frontiers in Plant Science* (2017) (www.doi.org/10.3389/fpls.2017.01564).
 - 17 M. S. Khan: Future challenges in environmental risk assessment of transgenic plants with abiotic stress tolerance. In: *Biotechnology and Molecular Biology Reviews* 6 (2011), pp. 199–213 (www.academicjournals.org/journal/BMBR/article-full-text-pdf/03E700211872).
 - 18 ENSSER and CSS: Scientific critic of Leopoldina and EASAC statements on genome edited plants in the EU. Brussels 2021 (www.ensser.org/wp-content/uploads/2021/04/Greens-EFA-GMO-Study-1.pdf).
 - 19 N. Gilbert: Cross-bred crops get fit faster. In: *Nature* (2014), 513 (7518):292 (www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25230627/). – N. Gilbert: Frugal farming – The race to create super-crops. In: *Nature* 533 (2016), pp. 308–310 (www.nature.com/articles/533308a).
 - 20 I. Kowarik: *Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa*. Stuttgart 2003.
 - 21 K. Kwall: Genome-edited *Camelina sativa* with a unique fatty acid content and its potential impact on ecosystems. In: *Environmental Science Europe* 33 (2021), 38 (www.doi.org/10.1186/s12302-021-00482-2).
 - 22 S. M. Hixson et al.: Long-chain Omega-3 polyunsaturated fatty acids have developmental effects on the crop pest, the cabbage white butterfly *Pieris rapae*. In: *PLoS ONE* (2016) (www.journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0152264).
 - 23 S. M. Colombo et al.: Potential for novel production of omega-3 long-chain fatty acids by genetically engineered oilseed plants to alter terrestrial ecosystem dynamics. In: *Agricultural Systems* 164 (2018), pp. 31–37 (www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X17306650).
 - 24 A. Greiter et al.: *Transgene Bäume – Spezielle Anforderungen an die Umweltrisikoprüfung sowie mögliche Auswirkungen auf den österreichischen Wald in seinen Wirkungen und Funktionen*. Wien 2015 (www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REPo506.pdf).
 - 25 Der vorliegende Beitrag basiert auf der Studie der Verf. *Ökologische Risiken der neuen Gentechnikverfahren*. Hrsg. vom BUND. Berlin 2022 (www.bund.net).



Dr. Martha Mertens

ist Diplom-Biologin und Sprecherin des Arbeitskreises Bio- und Gentechnologie des BUND und des gleichnamigen Arbeitskreises des Bund Naturschutz in Bayern e.V.

martha.mertens@t-online.de