Verschläft die EU die CRISPR-Revolution?

Aktuelle Hintergrundinformationen und Entwicklungen zu neuen genomischen Techniken

genius
Die Kommunikatoren

Was Ernährungssicherheit, internationale Warenströme, Naturschutz und Wohlstand mit der Genschere zu tun haben

Es steht außer Frage, dass die sogenannte Genom-Editierung mit der Genschere CRISPR/Cas die Biowissenschaften insgesamt und insbesondere auch die Pflanzenzüchtung grundlegend beeinflusst hat. Viele sprechen auch von einer Revolution [1].

CRISPR/Cas ermöglicht präzise Genveränderungen in Kultur- bzw. Nutzpflanzen. So kann die Methode die oft langwierige Kreuzungszüchtung in vielen Fällen ersetzen oder ergänzen und den Züchtungsfortschritt beschleunigen. Zwei Beispiele: Mit der Genschere hat eine Forschergruppe des Leibniz-Instituts für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung eine virusresistente Kulturgerste in zwei Jahren erzeugt. Die klassische Kreuzungszüchtung hätte mindestens zehn Jahre in Anspruch genommen [2]. Auch die Entwicklung von Zitruskrebs-resistenten Orangenbäumen verkürzte sich mit der Genom-Editierung von 20 Jahren auf zehn Monate [3]. In kommerziellen Sorten finden sich diese Merkmale bisher noch nicht, die grundsätzliche Machbarkeit ist aber an vielen Stellen belegt.

Züchtungsbeschleunigung dringend erforderlich

Und die Zeit drängt: Es gibt zahlreiche Herausforderungen, die eine Beschleunigung der Züchtung notwendig machen [4]. Mit dem Klimawandel drohen zunehmend Hitze, Trockenheit sowie andere Extremwetter-Situationen. Auch Schädlinge und Pflanzenkrankheiten sind unter den neuen Klimabedingungen auf dem Vormarsch und bedrohen die Ernten. Gleichzeitig soll die Landwirtschaft möglichst schnell nachhaltiger werden, um die biologische Vielfalt und andere natürliche Ressourcen unseres Planeten zu schützen. Nicht zuletzt im *Green Deal* bzw. der *Farm-to-Fork-Strategie* der Europäischen Union wird ein geringerer Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln, Dünger und Wasser gefordert [5].

Wissenschaft und Züchtung haben die Chancen der Genom-Editierung erkannt. Als molekulares Werkzeug wurde die Genschere zum ersten Mal von Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna im Jahr 2012 beschrieben. 2020 erhielten sie dafür den Nobelpreis für Chemie. Projekte, bei denen diese Technik zum Einsatz kommt, entwickeln sich seither rasant.

Ein Report des Joint Research Centers der EU-Kommission aus dem Jahr 2021 führte schon über 400 Forschungsprojekte auf [6], die EU-SAGE-Datenbank erfasste bis Anfang Dezember 2024 bereits 963 Projekte [7].

Ein Blick in diese Datenbank zeigt, dass Forschergruppen weltweit mittlerweile eine große Bandbreite an Kulturpflanzen durch Genom-Editierung optimiert haben, darunter Reis, Tomaten, Mais, Soja, Weizen, Gerste, Zuckerrüben, Kartoffeln und verschiedene Obstbaumarten [8]. Dabei konzentrieren sich die Forschungsprojekte vorrangig darauf, mit der Genschere Pflanzen widerstandsfähiger gegen Dürre, Hitze, zu hohe Salzbelastungen, Wassermangel (sogenannter abiotischer Stress) und gegen Krankheiten (biotischer Stress) zu machen sowie ihre Erträge zu steigern.

Neue genomische Techniken (NGT) werden auch genutzt, um den Nährwert von Nutzpflanzen zu verbessern (Qualitätsmerkmale). Ziel ist es, den Gehalt an Vitaminen, wichtigen Nährstoffen und Mikronährstoffen zu erhöhen. Beispiele dafür sind Reis mit mehr Eisen, Sojabohnen mit einem höheren Anteil an gesunder Ölsäure sowie Melonen, Reis und Bananen mit einem höheren Gehalt an Vitamin A. Solche Pflanzen könnten in Zukunft auch dazu beitragen, die in vielen Ländern grassierende Unterversorgung mit wichtigen Nährstoffen („verborgener Hunger") zu bekämpfen und so die Ernährungssicherheit und Gesundheit weltweit zu verbessern [9]. Es ist aber auch möglich, unerwünschte Inhaltsstoffe zu reduzieren, etwa Weizen mit einem reduzierten Glutengehalt oder Kartoffeln, bei denen beim Rösten weniger krebserregendes Acrylamid entsteht [7].

Europäisches Gentechnikrecht veraltet

Da es in der EU bisher keine spezifische Regulierung für genomeditierte Pflanzensorten gibt, fallen sie derzeit pauschal unter das Gentechnikrecht und müssen daher – im Vergleich zu einer herkömmlichen Sortenzulassung – ein äußerst aufwendiges, mehrjähriges Zulassungsverfahren durchlaufen. Zusätzlich machen nationale Anbauverbote für gentechnisch veränderte Pflanzen in den meisten Ländern der EU einen heimischen Anbau grundsätzlich unmöglich (Ausnahmen: Spanien und Portugal).

Eine Studie der EU-Kommission im Jahr 2021 [10] sowie über hundert Wissenschaftsorganisationen [11, 12, 13, 14] kommen zu der Erkenntnis, dass das europäische Gentechnikrecht, das auf dem wissenschaftlichen Kenntnisstand der 1990er-Jahre basiert, in diesem Punkt nicht mehr zeitgemäß ist.

,

Sie weisen darauf hin, dass Produkte der neuen Züchtungstechniken – soweit sie ohne das dauerhafte Einbringen fremden Genmaterials auskommen und sich auf das Hervorrufen von punktuellen Mutationen beschränken – nicht unterscheidbar von Produkten der herkömmlichen Züchtung sind.

Solche punktuellen Änderungen im Erbgut können auch durch natürliche Prozesse wie Variationen der genetischen Informationen während der Zellteilung und externen Faktoren wie natürlicher Strahlung entstehen. Es wird geschätzt, dass in einer einzigen Weizenpflanze ungefähr 238 spontane genetische Veränderungen in jeder Generation auftreten [15]. Somit sind alle Pflanzen auf einem Feld genetisch unterschiedlich – allein durch natürliche Punktmutationen.

Laut führenden Wissenschaftsorganisationen [11] bergen genomeditierte Pflanzen kein grundsätzlich höheres Risiko für Umwelt und Gesundheit im Vergleich zu konventionell gezüchteten Sorten.

Der Wissenschaftliche Dienst des EU-Parlaments [15] bestätigt vielmehr, dass von genomeditierten Pflanzen in der Regel weniger Risiken zu erwarten sind als von solchen aus der klassischen Mutagenese, bei der Tausende unbekannte und unkontrollierte Mutationen auftreten.

Reformen stecken fest

Diesen Zustand versucht die EU-Kommission zu beenden und hat im Juli 2023 einen Gesetzentwurf zu genomeditierten Pflanzen vorgelegt [16]. Der Vorschlag sieht u. a. vor, dass genomeditierte Pflanzen der sogenannten Kategorie NGT1 (NGT steht für *New Genomic Techniques*), bei welcher die DNA einer Art verändert wird, ohne Fremdmaterial einzubringen, von den geltenden Auflagen des Gentechnikrechts befreit werden. Der Vorschlag schränkt auch ein, dass die neue Eigenschaft der Pflanze keine Herbizidresistenz sein darf – eine Regelung, die im Einklang mit dem Ziel der EU steht, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bis zum Jahr 2030 um 50 Prozent zu senken.

Der Gesetzgebungsprozess steckt derzeit allerdings fest. Zahlreiche Änderungsvorschläge wurden vom EU-Parlament gefordert; die Mitgliedstaaten einigten sich bisher nicht auf eine gemeinsame Position. Besonders strittige Themen sind vor allem Fragen zur Kennzeichnung, zur Absicherung einer ökologischen und gentechnikfreien Landwirtschaft sowie zur Patentierbarkeit von NGT-Pflanzen.

Diese Verzögerungen und das mögliche Scheitern der Gesetzesnovelle erhöhen die Gefahr, dass sich Europa in dieser Frage vom Rest der Welt abkoppelt. Denn genomeditierte Pflanzensorten werden konventionellen Sorten mittlerweile in immer mehr Ländern gleichgestellt.

Angepasste Regulierungen für genomeditierte Pflanzen schreiten weltweit voran

In den letzten Jahren haben viele Länder mit langjähriger Erfahrung im Anbau gentechnisch veränderter Organismen (GVOs) ihre Regulierungen so angepasst, dass genomeditierte Pflanzen ohne besondere Auflagen zugelassen werden können [17] (in Abbildung 1 dunkelgrün dargestellt). Diese Länder befinden sich überwiegend auf dem amerikanischen Kontinent, darunter die USA, Kanada, Guatemala, El Salvador, Ecuador, Kolumbien, Brasilien, Chile, Argentinien, Paraguay und Costa Rica. Auch Israel, England, die Philippinen, Nigeria, Kenia und Malawi verfolgen diesen Ansatz.

Japan, Australien und Indien haben genomeditierte Pflanzen ebenfalls aus den GVO-Regulierungen ausgenommen, unter der Voraussetzung, dass keine Fremd-DNA nachgewiesen wird (in Abbildung 1 grün dargestellt). Weitere Länder wie Uruguay, Burkina Faso, Mosambik, Sri Lanka, Bangladesch, Vietnam, Kambodscha, Südkorea und Indonesien befinden sich ebenfalls auf diesem Weg.

China verfolgt einen Sonderweg: Genomeditierte Pflanzen ohne Fremd-DNA unterliegen weiterhin der GVO-Verordnung, erfordern jedoch in der Regel weniger aufwendige Sicherheitsbewertungen hinsichtlich des Umwelteinflusses und der Freigabe als Lebensmittel im Vergleich zu klassischen GVOs.

Weltweit haben außerhalb Europas bislang nur fünf Staaten für genom-editierte Pflanzen eine ebenso strenge Regulierung verabschiedet wie für klassische GVOs: Südafrika, Neuseeland, Peru, Venezuela und Nicaragua (in Abbildung 1 blau dargestellt).

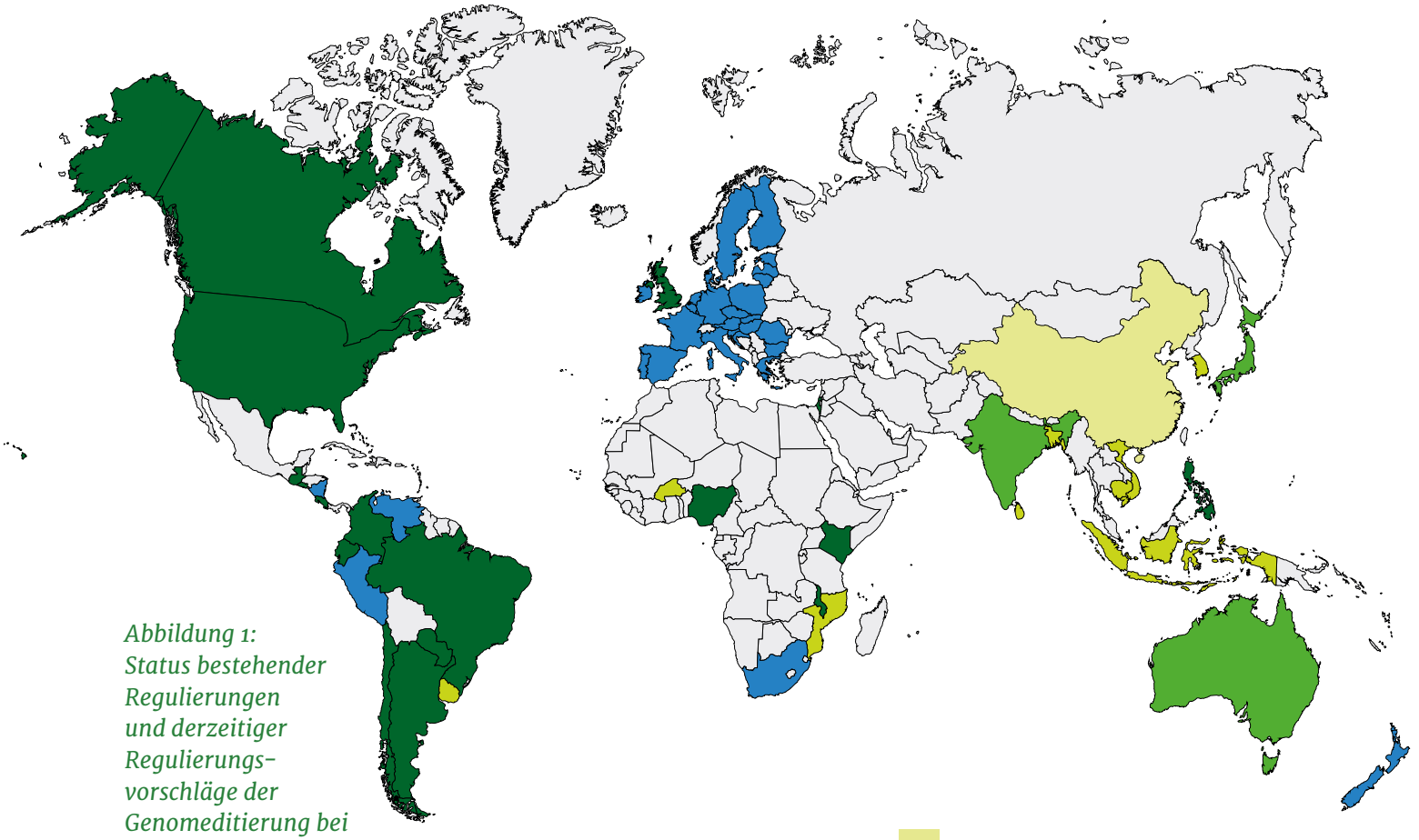


Abbildung 1: Status bestehender Regulierungen und derzeitiger Regulierungs-vorschläge der Genomeditierung bei Pflanzen weltweit

Genomeditierte Pflanzen reguliert wie konventionell gezüchtete Pflanzen

Genomeditierte Pflanzen aus GVO-Regulierungen ausgenommen, unter der Voraussetzung, dass keine Fremd-DNA nachgewiesen wird

Planung der Ausnahme genomeditierter Pflanzen aus GVO-Regulierungen, unter der Voraussetzung, dass keine Fremd-DNA nachgewiesen wird

Genomeditierte Pflanzen ohne Fremd-DNA unterliegen weiterhin der GVO-Verordnung, erfordern jedoch in der Regel weniger aufwendige Sicherheitsbewertungen im Vergleich zu klassischen GVOs

Genomeditierte Pflanzen wie klassische GVOs reguliert

modifiziert nach Hartung, F. *et al.* (2024) [17]: Anwendungen der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft: Potenziale und Risiken, Studien zumdeutschen Innovationssystem, No. 5-2024, Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), Berlin

Kommerzialisierung beginnt zaghaft

Trotz zahlreicher potenzieller Anwendungen sind bisher nur wenige genomeditierte Pflanzen als Saatgut auf dem Markt verfügbar.

Die meisten Projekte befinden sich noch im Versuchsstadium oder in einer vorkommerziellen Phase. Zu den bereits erhältlichen Produkten gehören Sojabohnen mit erhöhtem Ölsäuregehalt, Tomaten mit einem hohen Anteil an gamma-Aminobuttersäure (GABA), Mais mit erhöhtem Amylopektin-Gehalt, Senfblattsalat mit reduziertem scharfen Geschmack durch verminderte Senfölbildung sowie Champignons, die durch die Inaktivierung der Phenoloxidase langsamer braun werden [8].

Bedeutet dies, dass die Genom-Editierung die von Wissenschaft und Industrie versprochenen schnellen Fortschritte gar nicht ermöglicht? Eine differenzierte Betrachtung deutet auf andere Erklärungen hin:

Die Entdeckung des Züchtungs-Werkzeugs CRISPR/Cas wurde erst 2012 publiziert [18]. Hinzu kommt: Voraussetzung für die vielfach beschriebene Beschleunigung des Züchtungsprozesses ist jeweils das Vorliegen bestimmter Basisinformationen. So erfordert die Nutzung der Genschere eine detaillierte Kenntnis der jeweiligen genomischen Sequenz und deren Funktion, welche jedoch für viele Kulturen und Sorten noch nicht oder erst seit Kurzem vorliegt. Und auch die Kenntnisse über die genetischen Grundlagen komplexer Eigenschaften wie Trockentoleranz müssen zunächst erforscht sein, bevor auf dieser Basis und durch Anpassung häufig mehrerer Gene trockentolerante, klimaresiliente Nutzpflanzen entwickelt werden können. Für viele andere Entwicklungsziele wie Krankheitsresistenzen oder die Verbesserung von Qualitätsmerkmalen genügt dagegen oft eine einzige Genmutation. In solchen Fällen können Ergebnisse vergleichsweise schnell erzielt werden.

Sowohl bei genomisch einfachen als auch bei komplexeren Merkmalen sind die Fortschritte in der Grundlagenforschung sowie die Entwicklung neuer Nutzpflanzen durch den Einsatz von Genscheren und verwandten Technologien anhand zahlreicher wissenschaftlicher Publikationen klar ersichtlich. Mit fortschreitendem Verständnis von genetischen Informationen und Funktionen ist zu erwarten, dass diese Entwicklungen künftig noch an Dynamik gewinnen [19].

Eine Studie des Julius Kühn-Instituts [17] bestätigt solche Fortschritte: Sie hat insgesamt 72 Projekte weltweit identifiziert, bei denen mit einer kommerziellen Einführung von genomeditierten Pflanzen in den nächsten fünf Jahren zu rechnen ist. Dazu gehören Pflanzen mit Resistenzen gegen Krankheitserreger wie Viren, Bakterien, Pilze sowie mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber Trockenheit und Versalzung.

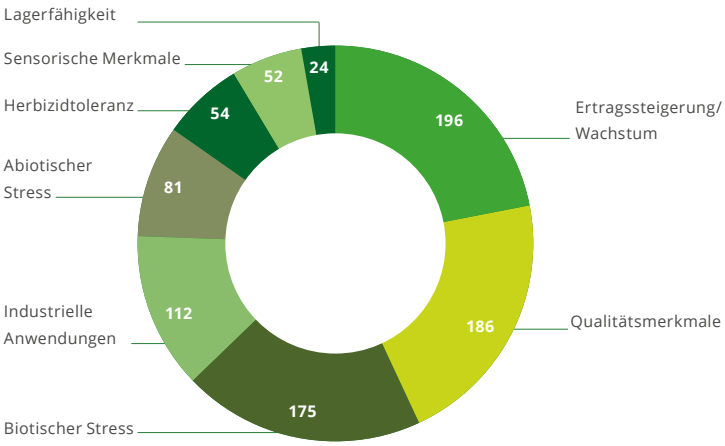
Dass dennoch bisher nur wenige genomeditierte Pflanzen kommerzialisiert wurden, liegt möglicherweise auch am vorsichtigen Vorgehen der Unternehmen. Solange keine international harmonisierten Regelungen für den Umgang mit genomeditierten Pflanzen existieren, birgt ihr Einsatz im globalen Agrarhandel das Risiko gravierender Handelsstörungen (siehe nächster Abschnitt). Bislang konzentriert sich die Kommerzialisierung von genomeditierten Pflanzen daher auf Nischenmärkte mit regionaler Bedeutung, die keine kritischen Auswirkungen auf den internationalen Agrarhandel haben.

Potenzielle Auswirkungen auf den internationalen Agrarhandel

Der internationale Agrarhandel ist essenziell, um Versorgungssicherheit, Stabilität der Lebensmittelpreise, wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und die Vielfalt des Lebensmittelangebots zu gewährleisten [20].

Das gilt auch für die EU. Sie ist bei Produkten wie tropischen Früchten, Kaffee oder Kakao auf Importe angewiesen, da diese klimatisch bedingt nicht in Europa angebaut werden können. Auch eiweißreiches Soja wird in großen Mengen aus den USA und Südamerika importiert, um den europäischen Proteinbedarf zu decken (ca. 13,5 Millionen Tonnen Sojabohnen und 16,5 Millionen Tonnen Sojaschrot, zusammen ca. 35 Millionen Tonnen Sojabohnenäquivalent im Jahr 2023). Der Selbstversorgungsgrad ist in diesem Bereich niedrig: In Deutschland liegt er bei Eiweißfuttermitteln bei nur etwa 30 Prozent. Das bedeutet, dass rund 70 Prozent des Bedarfs durch Importe aus Übersee gedeckt werden müssen [21].

Abbildung 2: Verteilung der Anwendungsbereiche für genomeditierte Pflanzen in der EU



modifiziert nach Jany (2024) [8], basierend auf Daten aus der EU-SAGE-Datenbank (https://www.eu-sage.eu/genome-search), aufgerufen am 30.04.2024.

Bei der Importabhängigkeit der EU von Eiweißpflanzen zeigen sich mögliche Gefahren der restriktiven EU-Gentechnikregelung:

Sollte in wichtigen Agrarexportländern wie den USA, Brasilien und Argentinien der Anbau von (nicht-nachweisbarem) genomeditiertem Soja beginnen (bisher klar gekennzeichnetes GVO-Soja), könnten erhebliche wirtschaftliche Verwerfungen in Europa die Folge sein. Importe aus diesen Ländern würden nahezu zum Stillstand kommen, da diese Pflanzen in der EU keine Zulassung hätten.

Bereits geringste Beimengungen solcher Pflanzen in Importwaren könnten aufgrund der bislang geltenden Nulltoleranzregel ein Vermarktungsverbot auslösen.

Eine ähnliche Situation wurde bereits 2007 im Auftrag der EU-Kommission untersucht [22], damals im Kontext nicht zugelassener GV-Sojasorten aus Nord- und Südamerika. Die Ergebnisse damals: Die Preise für Futtermittel in der EU könnten sich um das bis zu 20-Fache erhöhen, während die Tierproduktion drastisch einbrechen würde – um etwa 30 Prozent bei Schweine- und Geflügelfleisch. Gleichzeitig würden Importmengen an bestimmten Fleischsorten massiv ansteigen – um das 2- bis 50-Fache – während die EU ihre Fleischexporte nahezu vollständig einstellen müsste. Dieses Szenario verdeutlicht die potenziellen Risiken für die Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit der EU-Agrarwirtschaft aufgrund des veralteten Gentechnikrechts und der damit einhergehenden Rechtsunsicherheit.

Auch die von Verbänden wie VLOG (Verband Lebensmittel ohne Gentechnik e. V.) und ENGA (*European Non-GMO Industry Association*) geforderte Kennzeichnungspflicht für alle NGT-Produkte in der EU bedroht europäische Märkte: paradoxerweise das Marktsegment für gentechnikfreie Produkte („Ohne Gentechnik"-Siegel). Denn eine Kennzeichnungspflicht kann nur dann umgesetzt werden, wenn entsprechende Analysemethoden technisch rechtssicher, kosteneffizient und schnell sind [23, 24] – was derzeit nicht gewährleistet ist. Somit könnte eine vorsorgliche Kennzeichnung vieler Importwaren die Folge sein. Dies würde massiv die Versorgung des „Ohne Gentechnik"-Markts einschränken.

Viele Verbraucher denken um

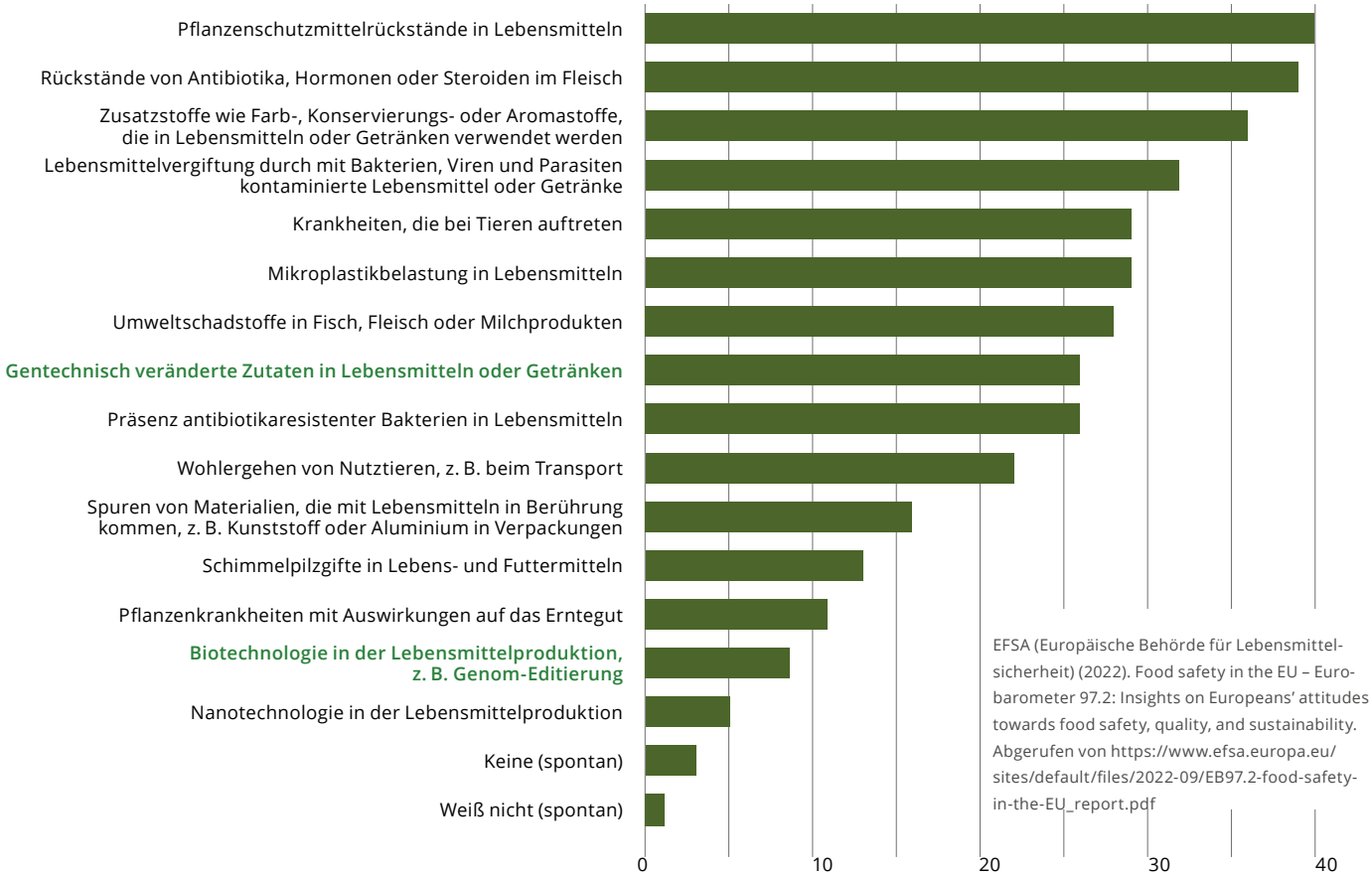
Auch in der Öffentlichkeit zeigt sich mehr Zuversicht, was die Chancen der neuen Techniken angeht. Umfrageergebnisse zeigen, dass europäische Konsumenten deutlich weniger Vorbehalte gegenüber der Genom-Editierung haben als gegenüber der klassischen Gentechnik. Beim letzten Eurobarometer zur Lebensmittelsicherheit (2022) gaben nur 8 Prozent der Befragten an, dass der Einsatz dieser Technik in der Lebensmittelerzeugung für sie besonders problematisch ist – bei der klassischen Gentechnik waren es 26 Prozent [25].

Ein noch deutlicherer Wandel in der Verbraucherwahrnehmung zeigt sich bei Umfragen in europäischen Nachbarländern [26, 27]: In der Schweiz (2024) und Norwegen (2020) wird die Genom-Editierung bei Nutzpflanzen sehr positiv bewertet – insbesondere, wenn sie dazu beiträgt, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren oder Nutzpflanzen an den Klimawandel anzupassen. Unter diesen Bedingungen befürworteten das 86 Prozent der befragten Schweizer.

Über 80 Prozent begrüßten den Einsatz der Genom-Editierung zum Schutz der regionalen Obst- und Gemüseproduktion sowie zum Erhalt traditioneller Apfelsorten.

Eine große Mehrheit der Schweizer lehnt generelle Verbote der Technologie ab und plädiert dafür, Chancen und Risiken individuell zu bewerten (76 Prozent). Zudem sprechen sich knapp 60 Prozent für die Zulassung genomeditierter Produkte aus, sofern sie sich nicht von herkömmlichen Produkten unterscheiden.

Abbildung 3:
Bedenken europäischer Konsumenten bezüglich der Lebensmittelsicherheit: Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Frage: „Bitte sagen Sie mir, welche dieser Themen Ihnen in Bezug auf Lebensmittel am meisten Sorgen bereiten? Zuerst? Und dann?"



EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) (2022). Food safety in the EU – Eurobarometer 97.2: Insights on Europeans' attitudes towards food safety, quality, and sustainability. Abgerufen von https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/2022-09/EB97.2-food-safety-in-the-EU_report.pdf

Quellen:

[1] European Research Council (ERC) (2024). CRISPR/Cas technology: a revolution in gene editing.

[2] Bioökonomie.de (2023). Neue Züchtungstechniken im Erkenntnis-Check. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[3] Wang, L., Zhou, C., Wang, J., Li, Z., & Song, X. (2023). Generation of the transgene-free canker-resistant Citrus sinensis by CRISPR/Cas12a-mediated targeted mutagenesis. Nature Communications, 14, Artikelnummer 39714. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[4] Umweltbundesamt (2022). Klimafolgen im Handlungsfeld Landwirtschaft: Abiotischer Stress bei Kulturpflanzen. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[5] European Commission (2020). A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system: Action plan 2020.

[6] European Union (2021). Current and future market applications of new genomic techniques. Publications Office of the European Union. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[7] EU-SAGE (n.d.). EU-SAGE: European Sustainable Agriculture through Genome Editing. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[8] Jany, K.-D. (2024). Wie geht es weiter mit CRISPR/Cas in der EU? Gentechnik und neue genomische Techniken in der Pflanzenzüchtung. Biologie in Unserer Zeit, 54(S), 18–25. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[9] Saltzman, A., Andersson, M. S., & Asare-Marfo, D. (2020). Multiplying the efficiency and impact of biofortification through metabolic engineering. Nature Communications, 11, Artikelnummer 5800. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[10] European Commission (2021). 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: Executive summary.

[11] Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften (2019). Wege zu einer wissenschaftlich begründeten, differenzierten Regulierung genomeditierter Pflanzen in der EU. Towards a scientifically justified, differentiated regulation of genome edited plants in the EU.

[12] Deutsche Botanische Gesellschaft (DBG) (2023). Stellungnahme zum Regulierungsvorschlag für neue genomische Techniken (NGT). Abgerufen am 11. Januar 2025.

[13] EASAC (2017). The regulation of genome-edited plants in the European Union. European Academies' Science Advisory Council.

[14] Deutsche Forschungsgemeinschaft (2023). Für eine zeitgemäße Regulierung der Produkte neuer Züchtungstechniken als Beitrag zur Bewältigung multipler Krisen des 21. Jahrhunderts: Positionierung der Ständigen Senatskommission für Grundsatzfragen der Genforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

[15] European Parliamentary Research Service (2022). Genome-edited crops and 21st century food system challenges.

[16] European Commission (2023). Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über mit bestimmten neuen genomischen Techniken gewonnene Pflanzen und die aus ihnen gewonnenen Lebens- und Futtermittel.

[17] Hartung, F., Krause, D., Sprink, T., & Wilhelm, R. (2024). Anwendungen der Grünen Gentechnik in der Landwirtschaft: Potenziale und Risiken (Studien zum deutschen Innovationssystem No. 5-2024). Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI).

[18] Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA–guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. Science, 337(6096), 816–821.

[19] Karavolias, N. G., Horner, W., Abugu, M. N., & Evanega, S. N. (2021). Application of gene editing for climate change in agriculture. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, 685801.

[20] Grain Club. (2016). Rolle des internationalen Agrarhandels für die Welternährung. OVID Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V.

[21] OVID Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V. (2023). Nahrungsmittel-Versorgung: Eiweißlücke schrumpft auf 70 Prozent. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[22] European Commission (2007). Economic impact of unapproved GMOs on EU feed imports and livestock production.

[23] Joint Research Centre (2019): Detection of food and feed plant products obtained by new mutagenesis techniques. Europäische Kommission.

[24] transGEN (2020): Besondere Gesetze für genomeditierte Pflanzen? Das Dilemma der Nicht-Unterscheidbarkeit. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[25] EFSA (2022): Food safety in the EU: Special Eurobarometer 97.2.

[26] gfs.bern (2024): Genom-Editierung in der Schweizer Landwirtschaft: Bevölkerung zeigt Offenheit für moderne Züchtungsmethoden. Abgerufen am 11. Januar 2025.

[27] Norwegian Biotechnology Advisory Board (2020): Norwegian consumers' attitudes toward gene editing Norwegian agriculture and aquaculture.

Diese Ausarbeitung wurde erstellt durch die Genius GmbH, Agentur für Wissenschaftskommunikation.
Gestaltung: Seippel & Weihe – Die Markenaktivisten, Offenbach

Der Auftraggeber ist eine Verbändegemeinschaft der deutschen Agrar-, Ernährungs- und Bioökonomiewirtschaft:
>> Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e. V. (BDP)
>> Bundesverband Großhandel, Außenhandel, Dienstleistungen e. V. (BGA)
>> BIO Deutschland e. V.
>> DER AGRARHANDEL – Bundesverband Agrarhandel und Verein der Getreidehändler der Hamburger Börse e. V. (DAH)
>> Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie e. V. (DIB)
>> Deutscher Raiffeisenverband e. V. (DRV)
>> Deutscher Verband Tiernahrung e. V. (DVT)
>> Deutscher Verband des Großhandels mit Ölen, Fetten und Ölrohstoffen e. V. (Grofor)
>> Industrieverband Agrar e. V. (IVA)
>> OVID Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland e. V.
>> Union der Deutschen Kartoffelwirtschaft e. V. (UNIKA)
>> Verein der Zuckerindustrie e. V. (VdZ)
>> Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e. V. (WVZ)

Kontakt / Ansprecherpartnerin für mögliche Anfragen:
Dr. Sophia Müllner, Industrieverband Agrar e. V. (IVA), Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt
muellner.iva@vci.de

Januar 2025