



Pflanzenzüchtung – von klassischer Kreuzung bis Genom-Editierung

Schädlinge, Klimawandel, knappere Ressourcen – es braucht ständig neue Pflanzensorten, um möglichst umwelt-schonend genügend Lebensmittel von hoher Qualität zu produzieren. Unabhängig von der Kulturpflanze bleibt das Grundprinzip immer gleich: Die Pflanzenzüchtung basiert auf der genetischen Vielfalt. Diese Vielfalt ist entweder natürlich entstanden oder vom Menschen durch verschiedene Methoden kreiert. Die Pflanzen werden anschliessend detailliert beschrieben, über mehrere Jahre geprüft und schliesslich nach einer offiziellen Zulassung in den Sortenkatalog aufgenommen. Die Palette an Methoden in der Pflanzenzüchtung wurde in den vergangenen Jahrzehnten stetig erweitert: Durch Mutationszüchtung kann die genetische Vielfalt erweitert werden, und die Gentechnik ermöglicht das Einführen von Genen über die Artengrenze hinaus. Mit dem neuesten Werkzeug, der Genom-Editierung, lassen sich seit kurzem gezielt Veränderungen an einer bestimmten Stelle im Erbgut von Kulturpflanzen erzeugen.

Pflanzenzüchtung hilft, Erträge und Qualität pflanzlicher Produkte langfristig zu sichern und zu verbessern.¹ Sie zielt darauf ab, Pflanzen zu entwickeln, die Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen, hohe Qualität und einen stabilen Ertrag kombinieren. Als grosse Herausforderungen kommen heute die knapper werdenden Ressourcen und die Klimaveränderungen hinzu.² Deshalb wird beispielsweise an der Entwicklung von Pflanzensorten gearbeitet, die Trockenheit, Hitze oder Nährstoffmangel besser tolerieren.

Der Klimawandel, zusammen mit globalem Warenhandel, kann auch dazu führen, dass sich neue Pflanzenkrankheiten und Schädlinge rascher ausbreiten und so an Orten etablieren können, an welchen sie bisher nicht vorgekommen sind. Daher sind Resistenzen gegenüber Krankheitserregern und Schädlingen auch ein wichtiges Zuchtziel, um den Einsatz von Pestiziden zu reduzieren.

Weiter bleibt die effiziente Nährstoff- und Wassernutzung ein Schwerpunkt der Pflanzenzüchtung, um etwa den Bedarf an Mineraldüngern zu senken.^{3,4} Schliesslich werden bei der Pflanzenzüchtung auch die Bedürfnisse der Konsumentinnen und Konsumenten und des Marktes berücksichtigt.

Unabhängig von der Kulturpflanzenart und den Zuchtzielen funktioniert die Pflanzenzüchtung im Prinzip immer gleich. Soll eine bestimmte Eigenschaft verändert werden, wird zuerst die entsprechende genetische Vielfalt gesucht oder geschaffen. Anschliessend werden die Pflanzen mit den erwünschten Merkmalen selektiert und weiter optimiert, um schliesslich nach bestandener, unabhängiger Prüfung als neue Sorten zugelassen zu werden.⁵

Genetisches Material

- Wildpflanze ●
- Kultursorte ●
- Anderer Organismus ●

Veränderung

- Erwünscht ●
- Unerwünscht ●

1 Genetische Vielfalt erweitern

Grundlage jeder Züchtung ist die genetische Vielfalt. Bereits zu Beginn des Ackerbaus haben Menschen aus der bestehenden Vielfalt Pflanzen mit erwünschten Eigenschaften ausgewählt und gezielt weitervermehrt. In der heutigen Pflanzenzüchtung wird im ersten Schritt des Züchtungsprozesses die genetische Vielfalt erweitert. Dazu können bestehende Genvarianten neu kombiniert werden, z. B. durch Kreuzungen mit anderen Kultur- oder Wildpflanzen der gleichen Art oder mit nahen Verwandten. Mutationen tragen ebenfalls zur Erweiterung der genetischen Vielfalt bei. Sie entstehen spontan oder werden durch Umwelteinflüsse (Sonne, Stress) hervorgerufen, können aber auch absichtlich in grosser Anzahl im Züchtungsprozess induziert werden. Häufig bringen Mutationen keine Vorteile, manchmal aber entstehen neue und wertvolle Eigenschaften. Mit der klassischen Gentechnik ist es möglich, erwünschte Eigenschaften sowohl innerhalb einer Art (cisgen) wie auch über Artgrenzen hinweg (transgen) in Zuchtlinien zu integrieren. Die kürzlich entwickelte Genom-Editierung schliesslich lässt sich auf verschiedene Weise nutzen, um die genetischen Grundlagen einer Zuchtlinie gezielt zu verändern.

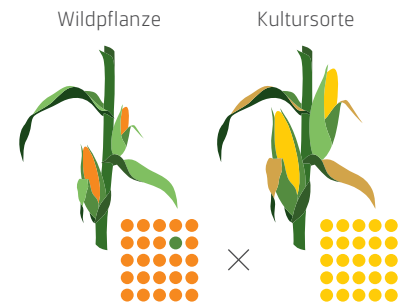
2 Selektion und Optimierung

Im Züchtungsverfahren werden Pflanzen mit einer erwünschten Eigenschaft (z.B. Krankheitsresistenz) schrittweise ausgewählt. Dazu werden die Nachkommen unter kontrollierten Bedingungen oder im Feld beschrieben (Phänotypisierung), beurteilt und selektiert. Dabei wird oft anhand einzelner oder gar tausender genetischer Marker bestimmt, welche Individuen die erwünschten Erbinformationen tragen. Man spricht von markergestützter oder genomischer Selektion. Je nach Methode müssen die Nachkommen durch unterschiedlich viele Kreuzungen optimiert werden, wodurch erwünschte Eigenschaften fixiert und unerwünschte eliminiert werden. Sind die neuen Eigenschaften in den Nachkommen mit anderen positiven Merkmalen ausreichend kombiniert, werden daraus neue Sortenkandidaten entwickelt.

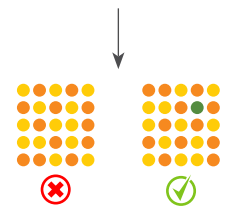
3 Sortenprüfung und Zulassung

Nach langjähriger Selektion und mehreren Prüfungen im Feld werden die Favoriten als neue Sorte beim Bundesamt für Landwirtschaft zur Zulassung angemeldet. Diese Sortenkandidaten dienen zudem als Grundlage für weitere Züchtungen. Neue Pflanzensorten werden vor der Zulassung für den Sortenkatalog von einer unabhängigen Prüfstelle im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft getestet. Damit eine neu gezüchtete Sorte als solche anerkannt wird, muss sie sich von anderen Sorten unterscheiden und zudem homogen und genetisch stabil sein. Ackerbauliche Sorten werden zusätzlich auf Anbau- und Verwendungseignung geprüft.⁶ In der Schweiz werden heute ausschliesslich Sorten, die durch Kreuzungs- oder Mutationszüchtung entstanden sind, zum Anbau zugelassen. Für den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen besteht seit 2005 ein Moratorium. In der Schweiz und der Europäischen Union gelten momentan auch mit Hilfe der Genom-Editierung erzeugte Sorten als gentechnisch veränderte Pflanzen und fallen somit unter dieselben Bestimmungen. In der Schweiz wird nun geprüft, ob für gewisse Formen der Genom-Editierung diese Regelungen angepasst werden sollen.

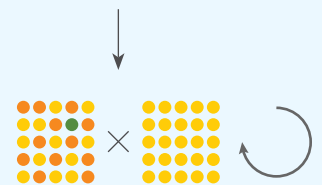
Kreuzungszüchtung



Eine erwünschte Eigenschaft (z.B. Krankheitsresistenz) wird aus einer Kultur- oder Wildpflanze, oder einer nahverwandten Art, in eine bestehende Sorte eingekreuzt.



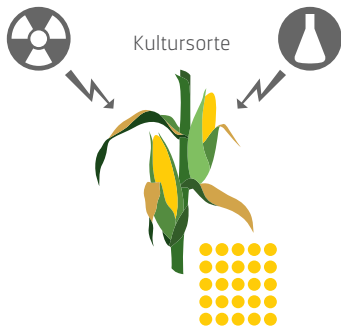
Die Erbinformationen der Elternpflanzen vermischen sich und ergeben in den Nachkommen zufällige, neue Kombinationen von erwünschten und unerwünschten Eigenschaften.



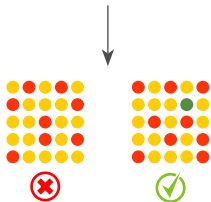
Die ausgewählten Nachkommen werden anschliessend durch mehrfache Rückkreuzungen mit der Sorte weiter optimiert.



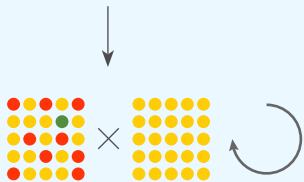
Mutationszüchtung



Durch Bestrahlung oder Behandlung mit Chemikalien werden zufällige Mutationen im Erbgut einer Kulturpflanze erzeugt.



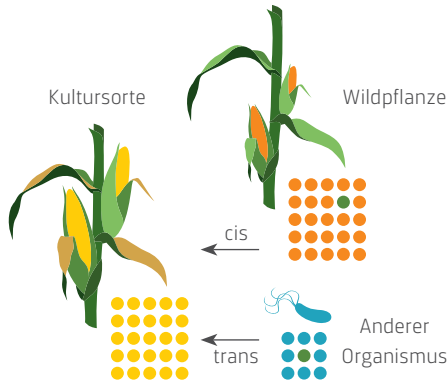
Neben der zufällig entstandenen, erwünschten Mutation werden auch unzählige weitere, unerwünschte Veränderungen im Genom hervorgerufen.



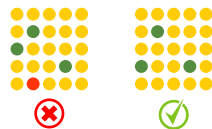
Die ausgewählten Nachkommen werden anschliessend durch mehrfache Rückkreuzungen von diesen unerwünschten Mutationen befreit und weiter optimiert.



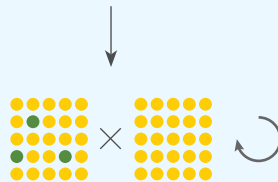
Klassische Gentechnik



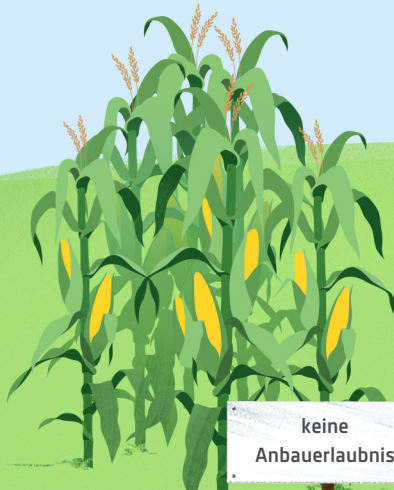
Eines oder mehrere Gene werden aus einer anderen Art (transgen) oder einer Wild- oder Kulturpflanze der gleichen Art (cisgen) durch gentechnische Methoden in die Kultursorte eingeführt.



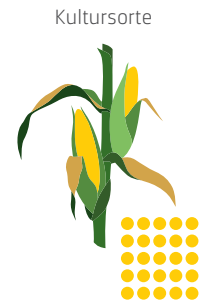
Dabei wird das neue Gen einmal oder mehrmals an einem zufälligen Ort im Erbgut eingebaut, was manchmal auch zu unerwünschten Veränderungen führen kann.



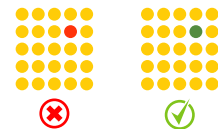
Die ausgewählten Nachkommen werden anschliessend durch zusätzliche Kreuzungen optimiert.



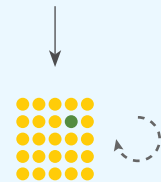
Genom-Editierung



Das Erbgut einer Sorte wird mit Hilfe von Genom-Editierungsverfahren verändert. Damit können ausgewählte Gene zufällig mutiert, gezielt umgeschrieben oder als Ganzes eingefügt werden.



Dabei erfolgen die erwünschten Veränderungen an einem spezifischen, vorher bestimmten Ort im Erbgut der Pflanze. Dies führt nur noch in seltenen Fällen zu unerwünschten Veränderungen.



Die ausgewählten Nachkommen müssen nur in bestimmten Fällen durch zusätzliche Kreuzungen weiter optimiert werden.



Genom-Editierung – ein neues Werkzeug in der Pflanzenzüchtung

Die Genom-Editierung nutzt sogenannte Genschere wie TALEN, Zinkfinger-Nukleasen oder CRISPR/Cas. Diese basieren auf bakteriellen Proteinen, welche seit Millionen von Jahren existieren. Die Genschere können für unterschiedliche Eingriffe ins Erbgut genutzt werden: Bei der einfachsten Form der Genom-Editierung entstehen durch eine fehlerhafte Reparatur des durch die Genschere verursachten DNA-Bruchs zufällige Mutationen, was zu einer Inaktivierung des Gens führen kann. Bei einer weiteren Form wird mithilfe einer Vorlage ein Abschnitt eines Gens spezifisch umgeschrieben, um beispielsweise ein defektes Gen wieder zu reparieren. Schliesslich können ganze Gene aus der gleichen (cisgen) oder aus einer anderen Art (transgen) an einer bestimmten Stelle im Genom eingefügt werden. Die Werkzeuge der Genom-Editierung werden kontinuierlich weiterentwickelt, um die Veränderungen noch effizienter und spezifischer zu machen.

Die Genom-Editierung unterscheidet sich von anderen Methoden durch ihre Spezifität: Einzelne ausgewählte Gene oder Genabschnitte können verändert werden, ohne dass das restliche Erbgut wesentlich beeinflusst wird. Im Gegensatz dazu bewirkt die Mutationszüchtung viele Veränderungen an zufälligen Stellen im Erbgut. Die Genom-Editierung ist auch gegenüber der klassischen Gentechnik präziser, da bei letzterer die Gene an zufälligen Stellen im Erbgut eingefügt werden.

Durch ihre Spezifität bietet die Genom-Editierung die Möglichkeit, einzelne Eigenschaften, wie etwa Krankheitsresistenz, gezielt in eine Sorte zu bringen, ohne die restlichen erwünschten Merkmale zu verändern. Dies kann die Entwicklung neuer Sorten wesentlich beschleunigen. Bedingung dafür ist, dass die genetische Grundlage der erwünschten Eigenschaft bekannt ist. Speziell bei komplexen Eigenschaften, welche auf einer Vielzahl von Genen beruhen, setzt dies vertiefte Grundlagenforschung voraus.

Insbesondere im Hinblick auf den Schutz vor Krankheiten und Schädlingen gehört zu einer nachhaltigen Strategie aber auch eine möglichst grosse genetische Vielfalt der Sorten in Züchtung und Anbau. Die Genom-Editierung besitzt hier das Potenzial, den Genpool von Wildpflanzen leichter zugänglich und effizienter nutzbar zu machen,⁷ etwa um Eigenschaften, welche durch die Domestikation von Kulturpflanzen verloren gingen, ins Zuchtmaterial zurückzubringen.⁸ Wichtig ist aber auch, die genetische Vielfalt durch Kreuzungen und Neukombination ganzer Genome stetig zu erweitern. Eine Vielfalt an Wild- und Kulturpflanzen muss als wichtige Ressource erhalten bleiben, um auch für zukünftige Züchtungen genutzt werden zu können.

Bei allen Züchtungsmethoden können unbeabsichtigte Veränderungen entstehen. So sind bei der Kreuzungszüchtung immer viele unerwünschte Genvarianten aus der Kultur- oder Wildpflanze vorhanden. Bei der Mutationszüchtung entstehen zahlreiche Mutationen, die weitere Merkmale der Kultursorte beeinflussen können. Ähnlich kann die zufällige Positionierung eines neuen Gens im Erbgut bei der klassischen Gentechnik unbeabsichtigte Effekte haben. Auch bei der Genom-Editierung können unbeabsichtigte Veränderungen entstehen, allerdings sind diese weitaus seltener als etwa bei der Mutationszüchtung und der klassischen Gentechnik. Obwohl die Genschere sehr spezifisch im Erbgut schneiden, kann es sein, dass sie in seltenen Fällen auch an anderen Stellen im Erbgut aktiv sind. Die meisten dieser unbeabsichtigten Veränderungen, die durch alle Methoden verursacht werden können, werden jedoch durch zusätzliche Kreuzungen bzw. während der Selektion eliminiert.

Eine Herausforderung bei genom-editierten Pflanzen ist die Nachverfolgbarkeit: Bei gewissen Formen der Genom-Editierung werden Mutationen erzeugt, wie sie auch natürlich auftreten oder bei der Mutationszüchtung induziert werden. Weil bei solchen Mutationen kein Rückschluss auf die Methode möglich ist, mit welcher sie ausgelöst wurden, ergeben sich offene Fragen für eine Regulierung, die sich auf die verwendete Methode abstützt.⁹

Die Genom-Editierung hat sich innerhalb kürzester Zeit weltweit in der Forschung und der Entwicklung neuer Pflanzensorten etabliert.⁴ So wurden bereits 2018 rund 100 Anwendungen von Genom-Editierung mit potenzieller Marktrelevanz in 28 Kulturpflanzenarten beschrieben.¹⁰ Auch in der Schweiz wird die Genom-Editierung in der Grundlagenforschung im Bereich der Pflanzenzüchtung genutzt. Konkrete Züchtungsprojekte, die Genom-editierte Sorten für die Schweiz entwickeln, sind hingegen zurzeit keine bekannt. Zudem sind hierzulande heute ausschliesslich Sorten zum Anbau zugelassen, die durch Kreuzungs- oder Mutationszüchtung entstanden sind. Ob und unter welchen rechtlichen Rahmenbedingungen mit Genom-Editierung gezüchtete Pflanzen in der Schweiz zukünftig einen Platz haben sollen, wird zurzeit von Politik und Gesellschaft diskutiert. Auf jeden Fall ist es entscheidend, dass die Schweiz weiterhin eine führende Rolle in der Forschung mit und zur Genom-Editierung einnimmt, damit sie in einer globalen Welt die Diskussionen zu Anwendungen, Auswirkungen und Rahmenbedingungen dieser Technologie mitprägen und ihre internationale Verantwortung wahrnehmen kann.

1 – 10 Literaturangaben und weiterführende Literatur finden sich in der Online-Version des Factsheets unter: akademien-schweiz.ch/factsheets

IMPRESSUM

HERAUSGEBERIN UND KONTAKT

Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT) • Forum Genforschung
Haus der Akademien • Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Bern • Schweiz
+41 31 306 93 34 • geneticresearch@scnat.ch • geneticresearch.scnat.ch

REDAKTION

Luzia Guyer • Sandro Käser • Franziska Oeschger

AUTORINNEN UND AUTOREN

Ueli Grossniklaus (Universität Zürich) • Monika Messmer (Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL) • Roland Peter (Agroscope) • Jörg Romeis (Agroscope) • Bruno Studer (ETH Zürich)

REVIEW

Roland Kölliker (ETH Zürich) • Adrian Rügsegger (TA-SWISS) • Olivier Sanvido (SECO) • Roman Ulm (Universität Genf) • Michael Winzeler (ehem. Agroscope)

ILLUSTRATIONEN UND LAYOUT

Natascha Jankovski

1. Auflage, 2020

Dieses Faktenblatt wurde durch das Forum Genforschung in Zusammenarbeit mit der Plattform Biologie und der Schweizerischen Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (SGPW) erarbeitet.

Zitiervorschlag: U Grossniklaus, M Messmer, R Peter, J Romeis und B Studer (2020) Pflanzenzüchtung – von klassischer Kreuzung bis Genom-Editierung. Swiss Academies Factsheet 15 (3)

ISSN (print): 2297-1580

ISSN (online): 2297-1599

DOI: 10.5281/zenodo.3696456

Literaturverzeichnis

- 1 R Braun, U Grossniklaus, D Gygax, S Kohler, P Matthias, J Romeis, O Sanvido und P Stieger (2013) Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und ihre Bedeutung für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz. Akademien der Wissenschaften Schweiz.
- 2 Bundesamt für Landwirtschaft (2016) Strategie Pflanzenzüchtung 2050. Bern.
- 3 A Walter *et al.* (2014) Die Schweizer Pflanzenzüchtung – eine räumliche, zeitliche und thematische Analyse des Umfeldes. Agrarforschung Schweiz, 5 (9), 366-373.
- 4 TA-SWISS (2019) Genome Editing: Interdisziplinäre Technikfolgenabschätzung. vdf Hochschulverlag AG, 70, Zürich.
- 5 Bundesamt für Landwirtschaft (2017) Weisung des Bundesamtes für Landwirtschaft betreffend der Aufnahme einer Sorte in die Sortenverordnung des BLW. Bern.
- 6 Bundesamt für Landwirtschaft (2008) Sorten, Saat- und Pflanzgut in der Schweiz. Bern.
- 7 A Zsögön *et al.* (2018) De novo domestication of wild tomato using genome editing. Nature Biotechnology, 36, 1211-1216.
- 8 M M Andersen *et al.* (2015) Feasibility of new breeding techniques for organic farming. Trends in Plant Sciences, 20:7, 426-34.
- 9 L Grohmann *et al.* (2019) Detection and identification of genome editing in plants: challenges and opportunities. Frontiers in Plant Science, 10:236.
- 10 Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Deutsche Forschungsgemeinschaft und Union der deutschen Akademien 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. Halle (Saale).

Weiterführende Literatur und Informationen

- J Carlin (2011) Mutations are the raw materials of evolution. Nature Education Knowledge, 3(10):10
<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/mutations-are-the-raw-materials-of-evolution-17395346/>
- Forschungsinstitut für biologischen Landbau (2012) Techniken der Pflanzenzüchtung
<https://shop.fibl.org/chde/1200-pflanzenzuechtung.html>
- Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie, Geschäftsstelle PLANT 2030 (2019) GENOMXPRESS SCHOLÆ 6: Genomeditierung bei Nutzpflanzen
<https://www.pflanzenforschung.de/de/schule-studium/genomxpress-scholae/gxp-06>
- M Messmer (2011) Dossier zur Beschreibung und Beurteilung von Züchtungsmethoden für den ökologischen Landbau
https://orgprints.org/20044/1/_Dossier_Zuechtungsmethoden_DEUTSCH_V41_.pdf
- <https://www.transgen.de>
- <https://www.pflanzenforschung.de/de/home>
- <https://www.fibl.org/de/themen/pflanzenzuechtung.html>
- <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzliche-produktion/pflanzenzuechtung.html>