

Präzise editieren statt massenhaft aussortieren

Von konventioneller Züchtung bis Genomeditierung

Pflanzenzüchtung ist keine neue Erfindung. Aber während dabei früher der Zufall eine große Rolle spielte, ermöglichen moderne Züchtungsmethoden ein immer präziseres Arbeiten. Dabei gilt: Je besser man das Genom einer Pflanze kennt, desto zielgerichteter kann man es verändern.

Beim Gang durch den Supermarkt begegnen uns zahlreiche landwirtschaftliche Produkte, die das Ergebnis jahrtausendelanger Züchtungsarbeit sind: Rispen prallvoll roter Tomaten, samtig-süße Bananen ohne Kerne und dicke gelbe Maiskolben zum Beispiel. Nur die wenigsten wissen, dass die wilden Vorfahren dieser Pflanzen ganz anders aussahen. Tomatenfrüchte waren klein, grün und bitter. Bananen steckten voller schwarzer Kerne. Und die Kolben des Mais-Vorfahren Teosinte wurden gerade fingergroß. Dann kam der Mensch.

Über 11 000 Jahre lang formen wir bereits Pflanzen nach unseren Vorstellungen. Angefangen hat alles im Norden der arabischen Halbinsel, der auch als „fruchtbarer Halbmond“ bezeichnet wird. Wo heute die Länder Türkei, Israel, Iran, Irak, Syrien und Saudi-Arabien liegen, befindet sich die Wiege der Landwirtschaft.

Die Menschen dort begannen als erste damit, Ackerbau zu betreiben. Der fruchtbare Boden und das warm-feuchte Klima boten ihnen dafür beste Voraussetzungen. Was ihnen anfangs noch fehlte, waren domestizierte Pflanzen. In mühevoller Arbeit mussten sie die widerspenstigen Wildpflanzen für den Ackerbau optimieren.

Denn Wildpflanzen haben einige für den Menschen äußerst ungünstige Eigenschaften. Beispielsweise sind die Ähren von Wildgetreidearten oft brüchig. Sobald die Samenkörner reif sind, fallen sie zu Boden. Die Pflanze sichert dadurch ihr Überleben in der nächsten Generation. Eine effiziente Ernte ist bei diesen Pflanzen allerdings nicht möglich – mühsam muss man alle Körner vom Boden aufklauben. Doch eine bis wenige Mutationen reichen aus, damit die Ähren stabil

bleiben und im Ganzen geerntet werden können.

Erspähten die frühen Ackerbauern Pflanzen mit stabiler Ähre auf ihren Feldern, erkannten sie deren Potential. Sie sammelten ihre Körner und säten sie in der nächsten Saison bevorzugt aus. Dadurch sorgten sie dafür, dass nach und nach immer mehr stabile Getreideähren auf den Feldern wuchsen, bis sich das Merkmal schließlich in der gesamten Population durchsetzte. So ähnlich verhielt es sich auch mit anderen günstigen Eigenschaften wie Anzahl und Größe der Körner, Geschmack, Giftstoffgehalt oder Reifezeitpunkt.

Neben der Selektion war auch die gezielte Kreuzung von Pflanzen mit jeweils günstigen Eigenschaften ein wichtiger Ansatz in der frühen Pflanzenzüchtung. Das Prinzip dahinter: Ein Teil der Nachkommen erbt die positiven Eigenschaften beider Elternteile, beispielsweise das Merkmal „viele Körner“ von der Mutter und das Merkmal „stabile Ähre“ vom Vater.

Unsere Vorfahren wussten natürlich noch nichts von Genen und Vererbungslehre. Ihre Werkzeuge waren eine genaue Beobachtungsgabe, Zufall und Geduld. Damit ausgestattet selektierten und kreuzten sie über Jahrtausende hinweg Pflanzen.

Heute wissen wir, dass jede Eigenschaft eines Lebewesens durch eines oder das Zusammenspiel mehrerer Gene bestimmt wird. Und Gene verändern sich. Jeden Tag kommt es in einer Zelle zu zufälligen Mutationen. Die meisten davon bleiben unbemerkt, weil sie keinerlei Veränderung bewirken. Einige wenige jedoch beeinflussen agronomisch wichtige Merkmale wie Krankheitsresistenz, Aussehen,

Wachstum oder Fruchtgeschmack. Im Umkehrschluss bedeutet das: Führt man Mutationen absichtlich herbei, dann lassen sich dadurch Pflanzen mit neuen Eigenschaften kreieren. Diesen Umstand nutzt die Pflanzenzüchtung schon seit Langem zu ihren Gunsten.

Sie setzt dabei auf unterschiedliche Methoden, mit denen sich die Anzahl der Mutationen im Genom künstlich erhöhen lässt. Häufig werden die Pflanzen energie-



Zum Weiterlesen und Recherchieren:

Plantainment Let's grow!

Methoden der Pflanzenzüchtung

Das Thema wird in einem unterhaltsamen und ausdrucksstarken Format beleuchtet.

<https://bit.ly/2Vnk5G6>

Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. (BDP)

Der Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter behandelt viele Themen rund um die Pflanzenzüchtung.

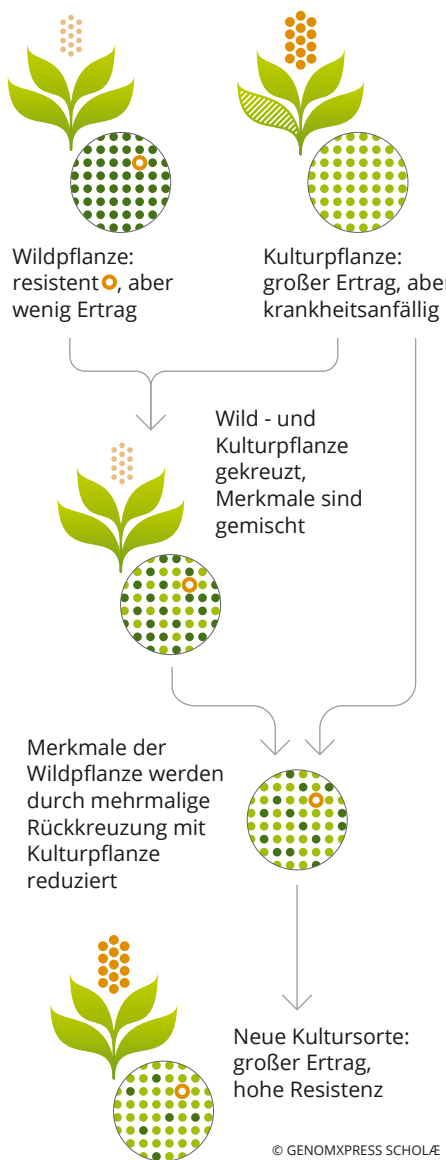
www.diepflanzenzuechter.de

Pflanzen. Forschung. Ethik Züchtungsverfahren im Überblick – Mit und ohne Gentechnik

Auf den Seiten von Pflanzen. Forschung.

Ethik werden die verschiedenen Methoden der Pflanzenzüchtung einander gegenübergestellt.

<https://bit.ly/2VKpdj>

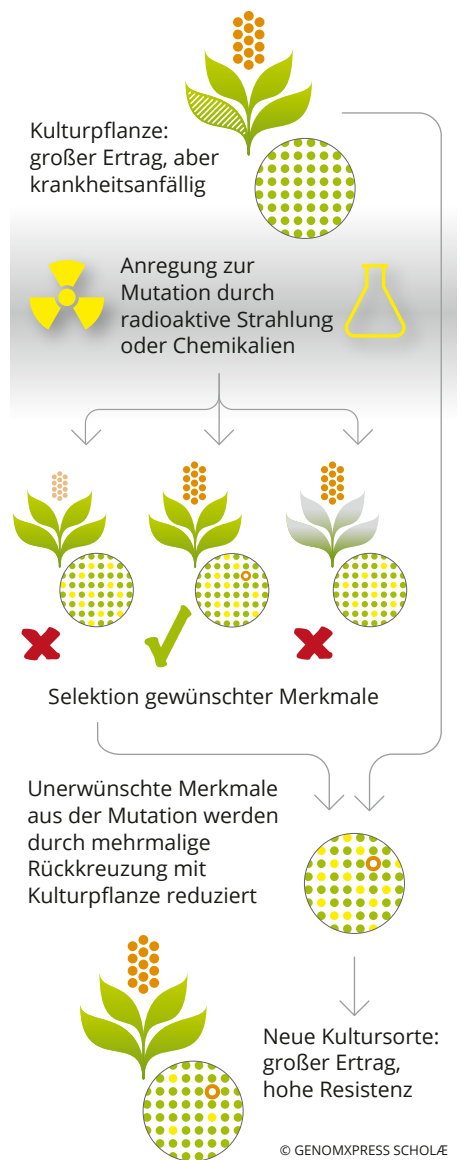


Klassische Kreuzungszüchtung

Die Blüten werden mit fremden Pollen bestäubt, um eine bessere Kombination der Elternmerkmale zu erreichen. Die besten Pflanzen werden mehrfach selektiert und rückgekreuzt. Der Züchtungsprozess bis hin zu einer marktreifen Sorte kann bis zu 13 Jahre dauern.

reicher Strahlung wie UV-Licht, Röntgen- oder Gammastrahlung ausgesetzt oder es kommen mutagene Chemikalien wie Ethylmethansulfonat zum Einsatz. Dadurch wird das Erbgut geschädigt. Es werden zum Beispiel einzelne Basen vom Zucker-Phosphat-Rückgrat der DNA abgetrennt oder es entstehen DNA-Doppelstrangbrüche. Den Reparaturenzymen der Zelle gelingt es nicht immer, diese Schäden angemessen zu korrigieren.

Ein DNA-Doppelstrangbruch kann von der Zelle auf unterschiedliche Arten geflickt werden. Eher selten tritt die homologe Rekombination (HR) auf. Dabei nutzt die Zelle das Schwesterchromatid

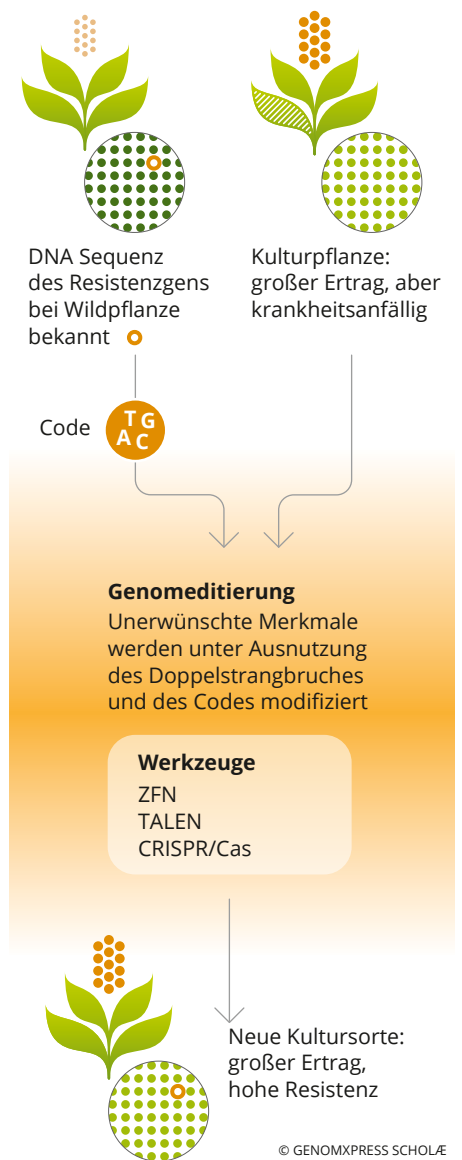


Mutationszüchtung (Mutagenese)

In Samen oder Zellkulturen werden mittels radioaktiven Strahlen oder Chemikalien bis zu 30 000 zufällige Mutationen pro Pflanze erzeugt. Durch mehrfache Selektion und Rückkreuzung entsteht eine Kultursorte, die sich von der Ausgangssorte weitestgehend in der gewünschten Eigenschaft unterscheidet.

als Vorlage und füllt die fehlenden Basenpaare entsprechend auf. Das kann man sich für gentechnische Methoden zu Nutzen machen, um Transgene einzuschleusen. Anstatt des Schwesterchromatids dient eine artifizell eingefügte DNA als Vorlage. Sie sollte dafür an beiden Enden über 300 bis 500 Basen verfügen, die zu der zu reparierenden DNA komplementär sind. In der Mitte kann sich jedoch ein völlig neuer Genabschnitt befinden, der dann ins Genom eingebaut wird.

Wesentlich häufiger tritt die nicht-homologe Reparatur auf, auch *non-homologous end joining* (NHEJ) genannt. Bei diesem Mechanismus flickt die Zelle den



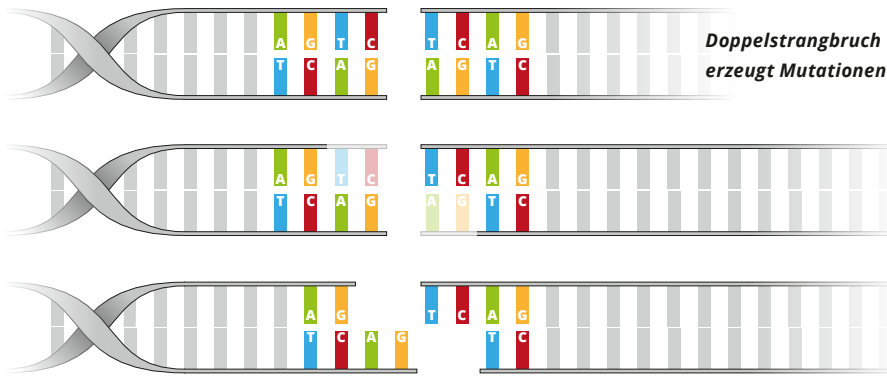
Genomeditierung

Voraussetzung ist die Kenntnis der DNA-Sequenz, die für das zu verändernde Merkmal im Genom codiert. Mit dem passenden Werkzeug wird eine Mutation durch einen gezielten Doppelstrangbruch erzeugt. Der Züchtungsprozess wird durch den Wegfall der multiplen Rückkreuzungszyklen verkürzt.

Doppelstrangbruch, ohne sich an einer Vorlage zu orientieren. Dabei können manchmal Fehler entstehen:

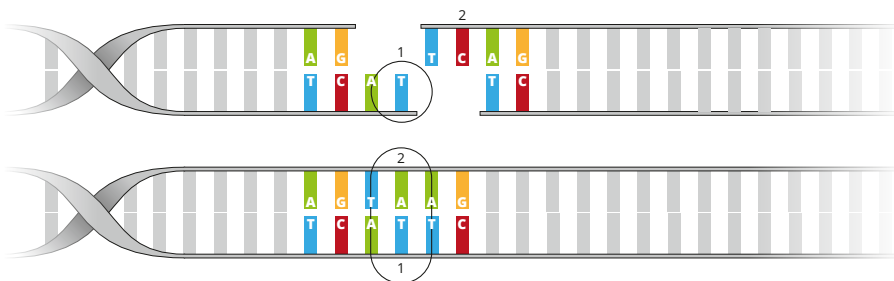
- eine oder mehrere Basen werden entfernt (Deletion)
- eine oder mehrere Basen werden hinzugefügt (Insertion)

Diese Fehler können dazu führen, dass Gene abgeschaltet, verändert oder in ihrer Expression verstärkt werden. Das Problem: Es lässt sich nicht vorhersagen, wo im Genom diese Mutationen auftreten werden. Daher werden meist tausende Keimlinge gleichzeitig mit den Mutagenen behandelt und die Pflanzen im aus-

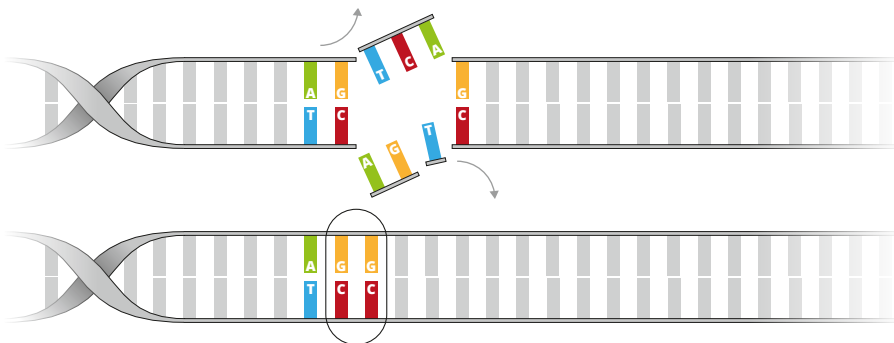


Startpunkt: Zelleigener Reparaturmechanismus macht Fehler, die in drei Mutationsformen münden.

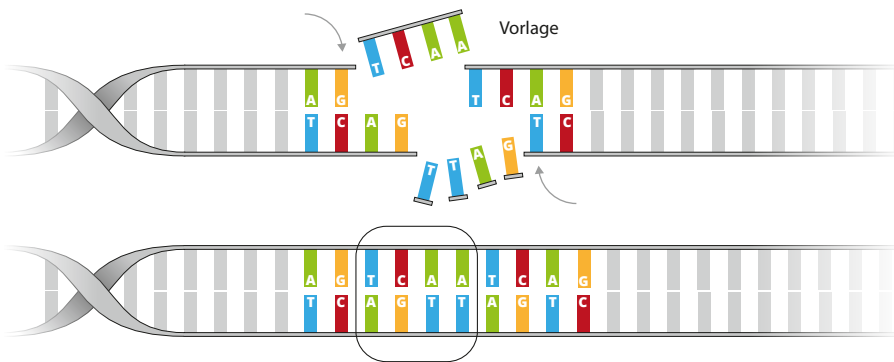
Doppelstrangbruch: Die Genomeditierungswerkzeuge schneiden den DNA-Doppelstrang gezielt durch. Innerhalb von Millisekunden beginnen Enzyme die Basen der DNA-Stränge abzubauen. Gleichzeitig setzt der zelleigene Reparaturmechanismus ein und versucht die freien Enden wieder zusammenzuführen. Meist repariert er richtig, doch ab und zu kommt es zu Fehlern, die zu Mutationen führen. © GENOMXPRESS SCHOLÆ



Punktmutation: Ein einzelnes Basenpaar wird ausgetauscht. Eine Base wird falsch repariert (1) und ihr Gegenüber (2) entsprechend verändert. © GENOMXPRESS SCHOLÆ



Deletion: Es gehen meist zwei bis drei Basenpaare verloren. Der Reparaturmechanismus ist bestrebt die beiden Enden der Doppelhelix möglichst schnell zusammenzuführen, um größere Verluste zu vermeiden. © GENOMXPRESS SCHOLÆ



Insertion: Der Reparaturmechanismus ergänzt den DNA-Strang, bis er zur gegenüberliegenden Seite passt. Die Doppelhelix wird wieder zusammengefügt und die fehlenden Basenpartner ergänzt. Bei der Genomeditierung kann an dieser Stelle eine Reparaturvorlage angeboten und so gezielt DNA-Sequenzen eingefügt werden. © GENOMXPRESS SCHOLÆ

gewachsenen Stadium ausführlich begutachtet und gemäß ihren Eigenschaften beschrieben. Dieser Prozess dauert lange und beansprucht viel Platz in Gewächshäusern und Feldern. Hinzu kommt: Viele Pflanzen werden durch die Mutagenese so stark geschädigt, dass sie gar nicht lebensfähig sind. Andere vereinen positive und negative Mutationen. Dann muss man durch gezielte Rückkreuzung die gewünschten, positiven Mutationen in eine gesunde und kräftige Pflanzenlinie überführen. Auch dieser Prozess ist sehr zeit- und arbeitsaufwändig.

In den letzten Jahren sind mehrere neue Techniken auf den Markt gekommen, die eine schnellere und vor allem präzisere Züchtung ermöglichen. Eine davon ist die Genomeditierung: Mit Werkzeugen wie Zinkfinger-nukleasen (ZFN), TALEN oder CRISPR/Cas können ganz gezielt einzelne Gene verändert, ausgetauscht oder abgeschaltet werden.

Im Grunde funktionieren alle diese Methoden nach dem Prinzip „Suchen und Ersetzen“. Genau wie ein Computer in einem Text eine bestimmte Zeichenfolge finden und austauschen kann, so lassen sich auch mit den Werkzeugen der Genomeditierung Gene aufspüren und durch andere Sequenzen ersetzen. Voraussetzung dafür ist, dass das Genom des Organismus entschlüsselt ist und die Funktionen der Gene bekannt sind. Denn nur, wenn man weiß, welche Gene welche Aufgabe übernehmen, lassen sich exakte Veränderungen planen und ausführen.

Arbeitsaufträge



1. Skizzieren Sie die grundlegenden Strategien des Menschen, um geeignete Nutzpflanzen zu erhalten. Beginnen Sie dabei vor 11 000 Jahren und enden Sie bei der Genomeditierung.
2. Erläutern Sie, warum es für die Pflanzenzüchtung wichtig ist, die Anzahl an Mutationen in einem Genom künstlich zu erhöhen. Wie wird das in der Pflanzenzüchtung gemacht?
3. Beschreiben Sie, welche Reparaturprozesse in der Zelle nach einem DNA-Doppelstrangbruch ablaufen.
4. Recherchieren Sie und stellen Sie die (methodischen) Unterschiede zwischen der klassischen Grünen Gentechnik und der Genomeditierung dar.
5. Diskutieren Sie in der Klasse, welche Vor- und Nachteile Kreuzungszüchtung, Mutationszüchtung und Genomeditierung haben. Welche Methode sollte aus Ihrer Sicht für die Entwicklung neuer Pflanzensorten zum Einsatz kommen?