

Grüne Gentechnik

Pflanzenzüchtung in der Ära der Molekularbiologie



Abb. 1: Für den Ackerbau in den Trockenzonen der Erde, wie hier in Mali, wäre die Verfügbarkeit von Dürre-toleranten Hirse- und Maissorten ein großer Fortschritt.

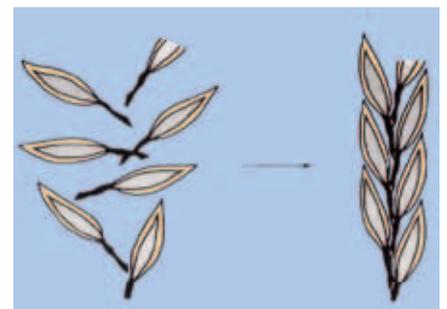
Die moderne Gentechnik weitet die klassischen Zuchtziele aus, macht aber auch ganz neue, spektakuläre Ergebnisse möglich.

VON WIDMAR TANNER

SEIT MEHR ALS 10.000 Jahren bauen Menschen Pflanzen an. Ausgehend von der artenreichen Familie der Süßgräser entwickelten sie die wichtigsten Nutzpflanzen: Weizen, Reis, Mais und alle weiteren Getreide. Dazu mussten sie die jeweiligen Wildformen domestizieren. So zerfallen z. B. bei den Wildgräsern die reifen Ähren in die einzelnen Ährchen, was biologisch außerordentlich sinnvoll ist, da dadurch die Samen optimal verbreitet werden (Abb. 2). Der Mensch im Neolithikum bevorzugte aber aus offensichtlichen Gründen jene Individuen, deren Ähren nicht zerfielen und hat gegen die Spindelbrüchigkeit der Ähren selektiert. Die ersten Züchtungserfolge der Menschheit beruhten somit auf der natürlichen Variabilität von Organismen und der gezielten Auswahl nach erwünschten Merkmalen.

Eine wissenschaftlich fundierte Kreuzungszüchtung gibt es seit etwa 100 Jahren. Durch die Kreuzung zweier sexuell differenzierter, artgleicher Organismen mit unterschiedlichen Eigenschaften können neue Merkmalskombinationen entstehen. Als Gesetzmäßigkeiten für die Weitergabe und Neukombination von Eigenschaften gelten die Regeln, die Gregor Johann Mendel 1865 aufgedeckt hat. Um in der Folgezeit Kreuzungen effizient für die Züchtung zu nutzen, war es wichtig, über eine Fülle von unterschiedli-

Abb. 2: Schematische Darstellung der Spindelbrüchigkeit der Grasähre einer Wildform (links) und die Ähre einer Kulturform (rechts).



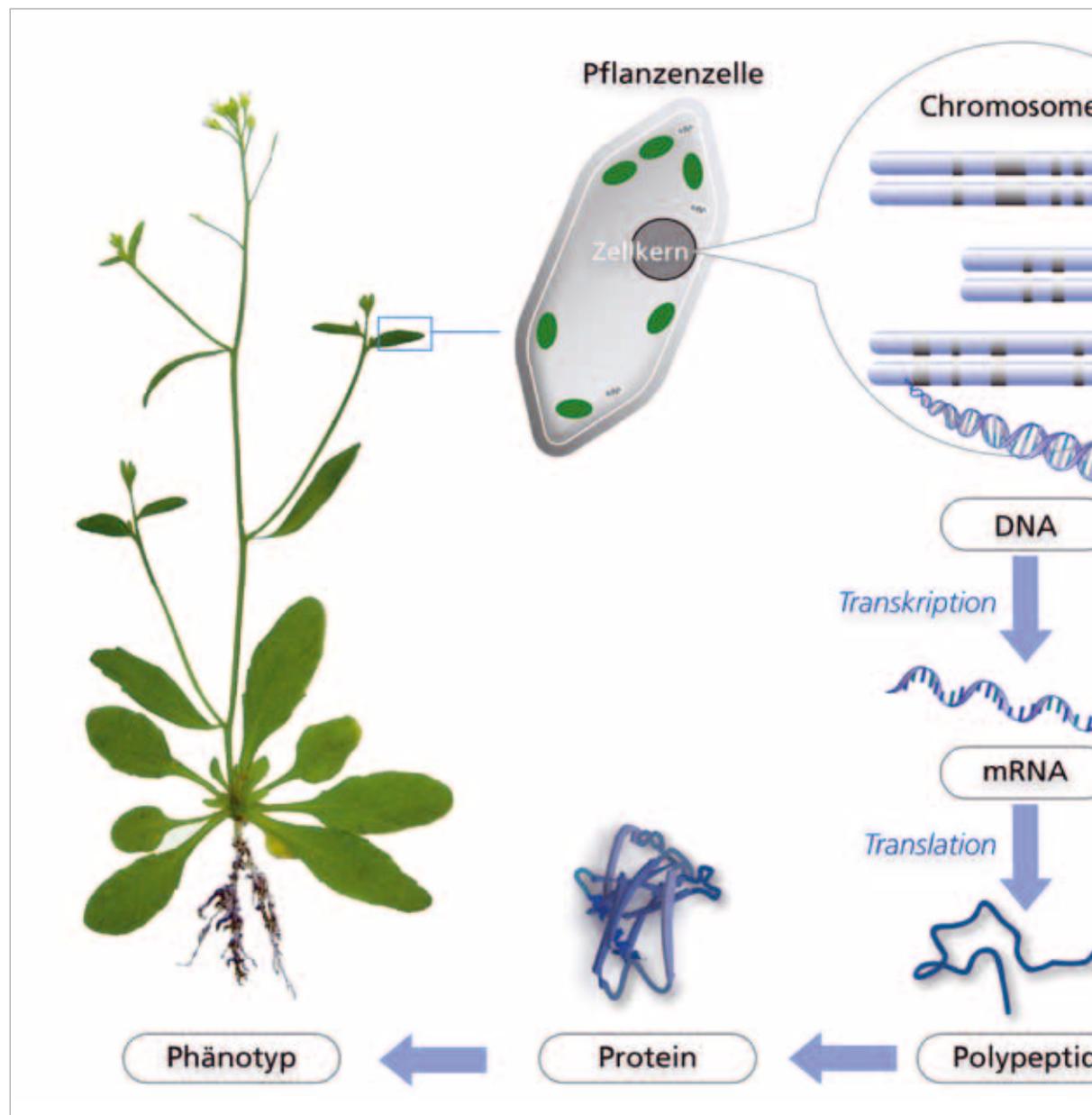


Abb. 3: Der molekulare Informationsfluss von der chromosomalen DNA, die über eine den Zellkern verlassende Zwischenstufe, eine Boten-RNA (mRNA), in ein Protein übersetzt wird. Das Protein ist für bestimmte Eigenschaften (Phänotyp) der Pflanze verantwortlich.

chem Ausgangsmaterial zu verfügen. Dies erreichte man nach dem Zufallsprinzip durch die künstliche Erzeugung von Mutanten unter Einsatz energiereicher Strahlung bzw. mutagener Chemikalien, ohne zu wissen, was genau sich in der Pflanze geändert hatte.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat sich unser chemisch/molekular-biologisches Verständnis der Lebensprozesse mit Riesenschritten fortentwickelt, sodass wir heute nicht nur den Schriftzug einzelner Gene lesen können, sondern auch die Übersetzung der genetischen Information verstehen. Zumindest teilweise wissen wir auch über die Funktionen vieler Gene Bescheid. Für die praktische Züchtung hat dies eine enorme methodische Ausweitung mit sich gebracht.

Das kleine Einmaleins der Molekularbiologie

Das genetische Substrat, die Desoxyribonukleinsäure (DNA), besteht aus langen Fadenmolekülen, die aus vier verschiedenen, als Nucleotide bezeichneten chemischen Bausteinen aufgebaut sind (Abb. 3). Im Mittel sind Gene 1.000 Nucleotide lang. Die Folge von jeweils drei Nucleotiden codiert für einen Eiweißbaustein, eine Aminosäure. Eiweiße oder Proteine sind im Wesentlichen aus 20 verschiedenen Aminosäuren zusammengesetzt, und deren Reihenfolge ist für die ganz spezifische Fähigkeit des Proteins verantwortlich. Die Proteine katalysieren alle chemischen Prozesse des Lebens. Fehlt ein Protein oder kommt es auf Grund eines Fehlers in der DNA (Mutation) zu einer falschen Reihenfolge der Protein-Bausteine, so kann das im Extremfall für den jeweiligen Organismus letal sein. Es kann aber auch bedeuten, dass ein Organismus plötzlich ganz neue Eigenschaften besitzt, ein



Gras also z. B. seine Spindelbrüchigkeit der Ähren verliert. Das wäre in freier Natur zwar ein großer Nachteil, würde sich bei Kulturpflanzen in der Pflege der Menschen jedoch durchsetzen; dies ist den Pflanzen mit vielen, in der freien Wildbahn positiven Eigenschaften so ergangen, und die Kulturpflanzen sind auf diese Weise zu Hätschelkindern der Menschheit geworden.

Um die moderne Pflanzenzüchtung zu verstehen, seien hier einige wichtige Punkte genannt:

1. Es ist heute nicht nur möglich, die genaue Sequenz eines jeden DNA-Abschnitts zu identifizieren, sondern auch jedes Nukleotid in einem Gen durch ein anderes auszutauschen und so das codierte Protein gezielt zu verändern.

2. Die einzelnen Gene, die für gleiche Funktionen bei unterschiedlichen Pflanzen codieren, sind hochgradig verwandt. Das bedeutet, dass die Information, die von einer bestimmten Pflanze – häufig der Modellpflanze der Molekularbiologie, der Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*) – mehr oder weniger mühsam erforscht wurde, im Prinzip auf andere (Kultur-)Pflanzen übertragen werden kann.
3. Da die Übersetzung eines Gens in ein Protein bei allen Organismen nach nahezu identischen Prinzipien und nach einem universellen Code abläuft, können in der Regel auch die codierenden Bereiche von Fremdgenen in jeder beliebigen Zelle gelesen und in ein Protein übersetzt werden.
4. Es ist heute möglich, genetisches Material – auch Fremdgene – in tierische und pflanzliche Zellen zu übertragen. Bei Pflanzen wird dies mit Hilfe des *Agrobacterium tumefaciens* erreicht. Dieses Bakterium ist in der Natur weit verbreitet und gelangt durch Verwundungen in pflanzliche Gewebszellen. Dort integrieren die Bakterien einen bestimmten Abschnitt ihres Erbguts in das Genom der Pflanze und lösen die Vermehrung dieser infizierten Pflanzenzelle aus. Es entsteht ein Bakterien-induzierter Tumor. Molekularbiologisch nutzt man die Besonderheit des Bakteriums, indem ein DNA-Konstrukt hergestellt wird, das nur noch das DNA-Übertragungspotential, nicht aber die Tumorerzeugende Eigenschaft besitzt. Dies kann sodann zur Einschleusung jedes beliebigen Gens in Pflanzen genutzt werden. Allerdings erfolgt die Integration des Fremdgens nach dem Zufallsprinzip, sodass eine gründliche Untersuchung der Eigenschaften der neuen Pflanze erforderlich ist.

Molekularbiologie in der Pflanzenzucht

Die Pflanzenzucht wird mit Hilfe der Molekularbiologie präziser, stark beschleunigt und erreicht u. a. Zuchtziele, die durch klassische Verfahren nicht möglich sind. Alle Verfahren, mit denen sich Gene identifizieren, charakterisieren, vermehren, künstlich verändern (mutieren) oder auch in andere Organismen übertragen lassen, werden unter Gentechnik zusammengefasst. Mit Hilfe der Gentechnik wurde zum einen die klassische Pflanzenzüchtung ausgeweitet, gegen die es in der Bevölkerung keine Einwände gibt. Die Vorgehensweise jedoch, die darin besteht, Fremdgene zu übertragen und dadurch sog. „transgene Pflanzen“ zu erzeugen, ist trotz strenger Regulierungen gesellschaftlich und politisch heftig umstritten. Im Alltag und in den Medien wird häufig nur für das zweite Procedere die Be-

zeichnung „Grüne Gentechnik“ benutzt. Auch der Begriff „gentechnisch veränderter Organismus“ (GVO) bezieht sich fälschlicherweise nur auf Organismen, auf die ein Gen übertragen wurde.

Die Züchtung durch Marker-gestützte Selektion

Ein Beispiel für die klassische, durch molekular-genetische Verfahren unterstützte Züchtung soll hier kurz erläutert werden: Es war immer schon ein Wunschziel der Züchter, eine bestimmte Eigenschaft möglichst früh festzustellen und nicht bis zur vollen Reife der Pflanze warten zu müssen. Als molekulare Marker konnten z. B. leicht nachweisbare Proteine dienen. Heute ist dagegen in sehr vielen Fällen das für die jeweilige Eigenschaft verantwortliche Gen bekannt, und somit stehen im Prinzip universelle, einfach handhabbare Marker für alle denkbaren Eigenschaften zur Verfügung. Nach der Kreuzung einer Kultursorte mit z. B. einer Wildform, in der das gewünschte Gen gentechnisch nachgewiesen ist, lässt sich schon in den ersten Wurzel- oder Blattspitzen der Keimlinge überprüfen, welche der Nachkommen über das Gen verfügen. Ausschließlich mit diesen wird weitergearbeitet, was die Züchtung extrem vereinfacht und deutlich beschleunigt. Beim zweigeschlechtigen Spargel z. B. sind nur die ertragreicheren Männchen für die jeweilige Weiterzucht von Interesse. Heute muss der Züchter nicht mehrere Jahre warten, bis der Spargel endlich blüht, sondern er erkennt durch das Vorhandensein des „M-Gens“ bereits in den Keimlingen die Männchen und spart mehrere Jahre an Zeit und Kosten.

Chancen der Produktion transgener Pflanzen

Durch die Übertragung von Fremdgenen können besonders spektakuläre Zuchtziele erreicht werden. So zählen zu den transgenen Neuzüchtungen der ersten Generation z. B. Sorten, die gegen Schadinsekten resistent sind. Sie werden heute, sieht man von Europa ab, weltweit angebaut. Dabei nutzt man ein für Insekten toxisches Protein, das das Bakterium *Bacillus thuringiensis* produziert (Bt-Toxin). Überträgt man ein für Bt-Toxine codierendes bakterielles Gen in eine Kulturpflanze, so ist diese gegen ihre Schadinsekten resistent. Bt-Toxine sind in Form der ganzen Bakterien als Sprühmittel zugelassen und werden seit etwa 1960 selbst im

biologischen Landbau eingesetzt. Auch wurden sie im letzten Sommer rund um den Chiemsee von Hubschraubern aus gegen Stechmücken versprüht. Der Anbau von transgenen Pflanzen, die das Protein produzieren und sich sozusagen aus eigener Kraft gegen ihre Fressfeinde wehren können, ist bei uns untersagt.

Transgene Pflanzen der zweiten Generation werden künftig nicht nur den Landwirten und der Umwelt dienen – geringere Kosten für Insektizide, umweltverträglichere Herbizide –, sondern auch dem Verbraucher. Im Versuchsanbau befinden sich u. a. Tomaten mit erhöhtem Gehalt an Flavonoiden (Antioxidantien), Soja- und Rapspflanzen, deren Öle höhere Gehalte an Vitamin E oder speziellen Fettsäuren haben, Reis und andere Getreide mit verringerten Gehalten an Allergenen oder mit Vitamin A angereicherter Reis („Golden Rice“). Mit Hilfe dieser transgenen Reispflanzen könnten zukünftig pro Jahr Millionen von Kindern vor dem Erblinden und einer durch Vitamin A-Mangel bedingten, zum Tode führenden Unterernährung gerettet werden. Für den „Golden Rice“ (Abb. 4) musste ein ganzer Stoffwechselweg mit drei Genen aus Mais in Reis übertragen werden – ein Vorhaben, das mit klassischer Züchtung ohne Gentransfer niemals erfolgreich wäre.

Weiterhin bemühen sich wichtige internationale Züchtungsvorhaben mit klassischen und molekularen Methoden um Virus-resistente Süßkartoffeln und Bananen, Pilz-resistente Pflanzen (z. B.



Abb. 4: Reis enthält kein beta-Carotin (links), „Golden Rice“ der 2. Generation enthält 37 µg/g (rechts).

Rebsorten) sowie um Kulturpflanzen, die Stresssituationen wie Trockenheit (Abb. 1), Hitze, Überflutung, Versalzung, Kälte oder den für viele Pflanzen toxischen Böden (etwa den an Aluminiumoxid reichen Böden in großen Teilen Südamerikas) standhalten. Schlussendlich sind die Bemühungen, in Pflanzen Medikamente (Antikörper, Impfstoffe) oder aber rasch abbaubares Bioplastik gentechnisch herzustellen, weit fortgeschritten.

Bedenken gegen transgene Pflanzen

Wenn neue Proteine in die Nahrung gelangen, könnten diese u. U. für bestimmte Personen allergen sein. In der Tat sind zwei solche Fälle bekannt geworden. Umfangreiche Prüfverfahren sind für alle GVOs vorgeschrieben, dadurch wurden die entsprechenden transgenen Pflanzen auch erkannt und aus dem weiteren Züchtungsverfahren genommen. Darüber hinaus vertreten heute selbst ernsthafte Gentechnikgegner nicht mehr die Meinung, dass Produkte aus transgenen Pflanzen gesundheitsgefährdend seien. In den Vereinigten Staaten verzehren seit mehr als 12 Jahren über 300 Millionen Menschen regelmäßig Produkte transgener Pflanzen, ohne dass ein einziger, wissenschaftlich belegter Fall einer Gesundheitsstörung bekannt wurde. Auch bei uns sind mehr als 70 % der Lebensmittel direkt oder indirekt mit Gentechnik in Berührung gekommen (z. B. mit transgenem Kraftfutter produzierte Fleisch-, Eier- und Milchprodukte!). Diese sollten daher eigentlich mit dem Hinweis „mit Hilfe gentechnischer Verfahren produziert“ gekennzeichnet werden (s. die Stellungnahme „Für eine neue Politik in der Grünen Gentechnik“, 2009 [Literaturhinweis]).

Die Haupteinwände gegen die Grüne Gentechnik sind heute: 1. die mögliche ungezügeltere Verbreitung unerwünschter Gene in der Umwelt (in diesen Zusammenhang gehört auch das Problem der Koexistenz von biologischem Landbau und GVO-Anbau) und 2. die befürchtete Abhängigkeit der Landwirte vom Monopol weniger Großkonzerne wie z. B. Monsanto.

Beide Einwände sind ernstzunehmen. Daher sind einerseits Mindestabstände zwischen entsprechenden Feldern und andererseits für jeden Einzelfall von GVO umfangreiche Prüfverfahren zwingend vorgeschrieben. Sie sollen gerade auch die unter 1. genannten Bedenken beurteilen (s. die DFG-Stellungnahme zur „Grünen Gentechnik“, 2010 [Literaturhinweis]). Dem zweiten Problem wäre am einfachsten dadurch zu begegnen, unseren Firmen und den etwa 100 mittelständischen Pflanzenzuchtbetrieben die

Arbeit mit transgenen Pflanzen zu ermöglichen und nicht aus politischem Kalkül trotz positiver langjähriger Begutachtung (z. B. bei MON810 Mais) die Zulassung zu verweigern. Konkurrenz ist bekanntlich das einzig funktionierende Mittel gegen Monopole.

Schlussbemerkung

Die bereits erwähnte fundierte, kritische DFG-Stellungnahme zur Grünen Gentechnik schließt mit dem zukunftsweisenden Kapitel „Weder Teufelszeug noch Wundermittel“. Die derzeitigen Produkte der Grünen Gentechnik sind für die Verbraucher im reichen, satten Europa im Unterschied zu den Menschen in den Entwicklungs- und Schwellenländern ohne große Bedeutung. 2010 bezifferte die Ernährungs- und Landwirtschafts-Organisation der Vereinten Nationen (FAO) die Anzahl hungernder Menschen weltweit auf fast eine Milliarde. Das Millenniumsziel der Vereinten Nationen, diese Zahl bis 2015 zu halbieren, ist schwer zu erreichen, umso mehr als die Weltbevölkerung pro Tag um 200.000 Menschen wächst. Die Anbauflächen sind ohne große Schädigung unserer Naturreserven kaum mehr auszuweiten. Somit muss auf den vorhandenen Nutzflächen effizienter produziert werden. Die unbewältigte Aufgabe einer optimalen globalen Verteilung der Lebensmittel ist ohne Zweifel das Hauptproblem des Welthungers. Die Meinung jedoch, dass die molekulare Pflanzenzüchtung nichts zur Minimierung des Hungers beitragen kann, ist unverantwortlich. Allein wenn es gelänge, pathogen-resistente Pflanzen zu züchten, könnten die weltweiten Ernteerträge um etwa 20 bis 30 % gesteigert werden.

Danksagung

Herrn Uwe Sonnwald, Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für hilfreiche Hinweise. ■

DER AUTOR

Prof. Dr. Widmar Tanner hatte bis zu seiner Emeritierung den Lehrstuhl für Zellbiologie und Pflanzenphysiologie an der Universität Regensburg inne. Schwerpunkte seiner Forschungen sind die Glykosylierung von Proteinen und der Membrantransport in Pflanzen und Hefen. Er ist seit 1994 ordentliches Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Literatur

Für eine neue Politik in der Grünen Gentechnik, Stellungnahme der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften acatech und der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (für die Union der Deutschen Akademien der Wissenschaften), 2009.

Grüne Gentechnik, Stellungnahme der DFG, WILEY-VCH Verlag, Weinheim 2010.