

Pflanzenzüchtung

Die Suche nach den Supersorten

Mit einer Verlängerung des Schweizer Gentechnik-Moratoriums dürften weiterhin keine gentechnisch veränderten Organismen in der Schweiz in Umlauf gebracht werden. Die klassische Pflanzenzüchtung erschafft unermüdlich verbesserte Pflanzen – ohne Gentechnik. Was kann sie mit ihren Methoden noch erreichen und worin liegen neue Herausforderungen?

Das Schweizer Gentechnik Moratorium verbietet seit 2005, dass Organismen in Verkehr gebracht werden, welche mit Hilfe gentechnischer Methoden erschaffen wurden. Der Bundesrat strebt an, es 2021 ein viertes Mal zu verlängern. Bei den Beratungen werden auch die «Neuen Pflanzenzüchtungsmethoden» diskutiert (Tabelle). Diese dürfen nur in der Forschung angewendet werden. Ungeachtet dessen, arbeitet die klassische Pflanzenzüchtung schon lange auf Ziele hin, welche durch diese Methoden effizienter erreicht werden sollen.

Gene sind immer beteiligt

Produziert eine Pflanze viel Biomasse, dann liegt das einerseits an einer Vielzahl von Genen, deren Variationen und Kombinationen. Wie gut eine Pflanze auf dem Feld ist, hängt aber auch von der Umwelt ab und wie

sich die Gene in dieser Umwelt auswirken. Nachkommen dieser Pflanzen sind eventuell schlechtere Biomasseproduzenten, da sie die Gene gar nicht vererbt bekommen haben oder die Elternpflanze ein optimales Jahr «erwischt» hatte. Für mehr Sicherheit braucht es immer noch jahrelange

Feldversuche. Seit den 2000er-Jahren sind molekulare und statistische Methoden vorhanden, die den Züchterinnen und Züchtern die Arbeit etwas erleichtern. Vor allem Eigenschaften, die durch wenige, bekannte Gene gesteuert werden, sind im Labor recht sicher vorhersagbar.

Beispiele «Neue Pflanzenzüchtungsmethoden»

Methode	Beschreibung	Beispiele*
Cisgene Pflanzen	Übertragung isolierter Gene von derselben Gattung.	Apfelschorfresistenz aus Wildäpfeln
RNAi Silencing	Genutzt wird ein natürlicher Abwehrmechanismus gegen Viren. Gene werden ausgeschaltet.	Kartoffeln bilden weniger Acrylamid
Genomeditierung (CRISPR-Cas9 und weitere)	Entspricht der Immunabwehr von Bakterien. Zielgerichtete Mutationen, bei denen die DNA an einer bestimmten Stelle zerschnitten wird.	Erdnüsse ohne Allergene

*Oft sind mehrere Methoden möglich, um an dieses Ziel zu kommen

Bild oben:
In der Weizenzüchtung bei Agroscope Changins werden jährlich bis zu 25 000 Weizenlinien visuell vom Züchter beurteilt.

Bild: Carole Parodi, Agroscope.

Linienzüchtung beim Weizen

Die ersten Jahre nach der Kreuzung sucht der Weizenzüchter Pflanzen mit den besten Eigenschaften aus. In diesem Zeitraum sind sie Anbaumethoden unter örtlichen Bedingungen ausgesetzt. Die zweite Phase dauert fünf Jahre und mehr. Hier wird die Leistung der Linien dieser Pflanzen (Nachkommen aus Selbstbefruchtung) schweizweit geprüft. Dabei werden Toleranzen gegen Stress wie Trockenheit und Resistenzen gegen Krankheiten und Insektenbefall gesucht. Beim Weizen werden zudem die Backqualität und der Ernährungswert betrachtet. Agroscope setzt in der Weizenzüchtung seit 2017 die genomische Selektion ein (Selektion anhand eines Wertes, der aus der Genomanalyse berechnet wurde). Wichtig bleibt: Ohne genetische Vielfalt kann die Züchtung nicht arbeiten. Um mehr Vielfalt zu haben, nutzt man auch verwandte Arten. Dies bietet sich bei Weizen an, da er aus drei Arten entstanden ist. Beobachtete oder provozierte Mutationen, wie die Kurzstroh-Eigenschaft, sind auch hilfreich. Aktuell dauert es mindestens zwölf Jahre von den ersten Schritten, bis eine Sorte beim Händler ist.

Hybridmaiszüchtung

Bei der Hybridmaiszüchtung werden Linien der besten Hybride untereinander gezielt gekreuzt. Die Linien zu entwickeln ist zeitintensiv und aufwendig, da Pflanzen immer wieder selbstbefruchtet werden müssen und sich die Leistung dabei oft verschlechtert. Mais ist im Gegensatz zu Weizen nämlich auf Fremdbefruchtung ausgerichtet. Zuchtziel Nummer eins ist der Ertrag, gefolgt von Reifezeitpunkt und der Futterqualität der Silage bei Silomais. Von der Erstellung der ersten Kreuzungen bis zur Sorte braucht es bei Delley Samen und Pflanzen

(DSP; Delley, FR) etwa neun Jahre. Der Einsatz von verschiedenen Technologien hat riesige Steigerungen in der Herstellung von Linien (Doppelhaploiden-Methode) und der Durchführung von Ertragsprüfungen (Saattechnik, Erntetechnik, Digitalisierung) ermöglicht. Molekulare Methoden haben die Zucht noch weiter beschleunigt. Die kostenintensive genomische Selektion wird bei größeren Unternehmen vermehrt routinemässig eingesetzt. Wegen dem starken Wettbewerb und dem hohen Technologieeinsatz, beschränkt sich heute die Maiszüchtung nur noch auf wenige Unternehmen.

Klonzüchtung bei der Kartoffel

Kartoffeln werden vegetativ über die Knollen vermehrt. Dadurch sind alle Nachkommen Klone der Mutterpflanze. Die Kartoffel wird immer noch fast genauso gezüchtet wie vor hundert Jahren: Nach einer Kreuzung werden aus den Samen Pflanzen gezogen und deren Knollen dann vegetativ vermehrt.

Diese Nachkommen werden getestet und über Jahre immer wieder selektiert. Wichtige Eigenschaften sind abhängig von den vier Marktsegmenten Speise, Chips, Pommes und Stärkegewinnung. Je nach Segment spielen Verarbeitungseignung, Optik, Inhaltsstoffe oder Lagereignung eine stärkere Rolle, und je nach Anbaubereich sind unterschiedliche Resistenzen relevant. Tatsächlich gibt es mehr als 50 relevante Merkmale, die Kartoffelzüchter bei der Selektion berücksichtigen. Es dauert etwa 15 Jahre von der Kreuzung bis zur Marktreife einer Sorte. Dieser langwierige Prozess ist der geringen Vermehrungszahl geschuldet (etwa 10 Knollen pro Pflanze) und dem grossen Aufwand zur Gesunderhaltung der Bestände. Das Risiko, Infektionen mit Viren oder Bakterien über die Knollen weiterzu-

Die Kartoffel wird immer noch fast genauso gezüchtet wie vor 100 Jahren.

Züchterblick in die Zukunft



**Futterpflanzenzüchter
Dr. Christoph Grieder**

Agroscope in Zürich, Reckenholz (ZH)

Welche Zuchtziele werden in der Zukunft wichtig?

Klar die Trockentoleranz. Deshalb setzen wir zum Beispiel Raigräser in Plastiktunneln gezielt Trockenheit aus. Rohrschwinkel und Knaulgras sind trockenolerantere Arten. Diese versuchen wir besser verdaulich zu machen und für den Schweizer Anbau anzupassen.

Ist noch eine grosse Leistungssteigerung möglich?

Bei Futterpflanzen berechneten wir eine Ertragssteigerung von drei bis vier Prozent pro Dekade. Bei diesem Wert bleibt es wohl, obwohl die Sommertrockenheit den Fortschritt bremsen könnte. Wir hoffen aber, in Zukunft den Zuchtfortschritt durch die Verwendung der genomischen Selektion steigern zu können.

Bei welchem Zuchtziel wären Gentechnik/die Neuen Zuchtmethoden am relevantesten?

Futtergräser weisen eine geringe Samenfestigkeit auf, so fallen die reifen Samen schnell zu Boden. Würde das entscheidende Gen ausgeschaltet oder modifiziert, könnte die Samenfestigkeit und somit der Saatgutertrag schnell verbessert werden.

Würde Gentechnik/Neue Züchtungsmethoden breit erlaubt, würde das bei Ihrer Kultur eine schnelle Anwendung finden?

Bei Futterpflanzen braucht es noch weitere Grundlagenforschung. Es würde also noch einige Jahre bis zur Anwendung dauern.



Weizenzüchter
Dr. Dario Fossati
Agroscope in Changins (VD)

Die Anpassung an Trocken- und Hitzestress gewinnt an Relevanz. Aber die Klimaänderung hat auch Einflüsse auf die Qualität und auf den Stress durch neue Pathogene oder Veränderungen des Krankheitsdrucks bei existierenden Krankheiten.

Es gibt schon jetzt Regionen in der Welt, wo die negativen Effekte des Klimas stärker sind als die erzielten genetischen Fortschritte. Die Getreideerträge in Europa stagnieren seit dem Jahr 2000. Mit dem Klima mitzuhalten und gleichzeitig die wachsenden Anforderungen der Branche einzubeziehen, wird immer schwieriger.

Es könnten Merkmale eingebaut werden, wie dies mit der klassischen Züchtung gar nicht oder fast nicht machbar ist. Sehr nützlich wäre es, negative Merkmale wie Allergene auszuschalten. Den Ertrag zu verbessern ist wahrscheinlich schwieriger, weil er durch sehr viele Gene beeinflusst wird.

Es gibt im Ausland im Labor schon erfolgreiche Beispiele für den Nutzen der Neuen Zuchtmethoden im Weizen. Wahrscheinlich wird nächstes Jahr in England ein Weizen mit geringerem Acrylamid-Risiko im Brot geprüft. Wenn ein Merkmal erstmal in einer Sorte drin ist, kann diese dann als Elter für klassische Kreuzungen genutzt werden. Wir hätten das nötige Know-how, diese Methoden rasch einzusetzen.



Maiszüchter
Dr. Alexandre Strigens
Delley Samen und Pflanzen AG,
Delley (FR)

Ertrags-Stabilität sowie Hitze- und Trockenheitstoleranz nehmen an Wichtigkeit zu. Eine rasche Jugendentwicklung und Bodendeckung für den Anbau ohne Herbizid wird zudem wichtig.

Zurzeit wachsen die Mais-Erträge um ein Prozent pro Jahr und es scheint nicht abzunehmen. Ein Teil der Steigung beruht auf der globalen Erwärmung, doch der grösste Beitrag bleibt die Züchtung. Da dauert es noch, bis der Fortschritt stagniert. Bei der Futter-Qualität sieht es anders aus, da hier ein Optimum zwischen Stängelstabilität, Kolben-Anteil und Restpflanzen-Verdaulichkeit gesucht wird.

Ich sehe Potenzial bei Qualitätsmerkmalen wie der Verdaulichkeit und dem Nährstoffgehalt sowie bei Krankheitsresistenzen zum Beispiel gegen Fusarium und Helminthosporium. Etwas schwieriger wegen der Merkmalkomplexität, aber von hohem Interesse, wären Geneditierungen die für eine grössere Stresstoleranz gegenüber Hitze, Dürre, Stickstoff- und Phosphorlimitation sorgen würden.

In den USA steht schon eine ganze Palette an entwickelten Gentech-Maissorten parat. Ob all diese eingefügten Merkmale einen Nutzen in der Schweiz hätten, mit unseren tendenziell weiten Fruchtfolgen, ist fraglich. Bei der Genomeditierung ginge es sicher noch etwas länger, bis nützliche Ziel-Gene mit effektiver Wirkung gefunden würden. Es ist ein grosser Schritt zwischen Labor und Feld.



Kartoffelzüchterin
Dr. Vanessa Prigge
SaKa Pflanzenzucht, Windeby (DE);
Im Verbund der Solana-Gruppe.

Mit Convenience Food ist ein neues Marktsegment entstanden. Toleranzen gegen Trockenheit, Hitze und Überschwemmung sowie Resistenzen gegen neue Krankheiten stehen im Fokus. Genauso wie Virus- und Insektenresistenzen, da viele Pflanzenschutzmittel wegfallen.

Durch die große Anzahl relevanter Merkmale ist die Selektionsintensität je Merkmal recht gering und entsprechend auch die Leistungssteigerung geringer als bei anderen Kulturarten. Jahrzehntelange Züchtung auf Frühreife und Krankheitsresistenz ermöglichen heute hohe Knollerträge schon nach deutlich kürzerer Vegetationszeit sowie unter Krankheitsdruck.

Nur wenn ein einzelnes oder wenige Gene eine Eigenschaft prägen und es die gewünschte Variabilität im vorhandenen Material nicht gibt, kann die Gentechnik einen Fortschritt bringen. Geringe Acrylamid-Gehalte bei den Verarbeitungssorten sind eine Herausforderung, da Eingriffe in den Kohlenhydrat- und Aminosäurestoffwechsel nötig sind. Hier könnten gezielte Genomveränderungen sehr hilfreich sein und werden in den USA auch schon gemacht. Für eine dauerhafte Phytophthora-Resistenz durch Kombination mehrerer Resistenzgene oder dem Ausschalten von Anfälligkeitsfaktoren wäre es ebenfalls nützlich.

Durch Forschungskooperationen sind wir intensiv daran beteiligt, Züchtungstechniken wie die Genomeditierung zu etablieren. Nach der rechtlichen Klärung wären wir bereit, durch gezielte Mutationen massgeschneiderte Kartoffelsorten zu entwickeln.



Zuckerrübenzüchter
(ehemals) Dr. Michael Stange
Strube, Söllingen (DE)

Bereichsleiter Produktmanagement und Agroservice Zuckerrübe; Dozent an der HAFL.

Resistenzen gegen Vergilbungsviren und auch SBR (Syndrome Basses Richesses) sind gesucht. Die Relevanz von Hitze und Trockenheit steigt, auch aufgrund des einhergehenden, steigenden Befalls mit Cercospora und Rizomania. Es ist das Ziel, stabile und hohe Erträge unter sich ändernden Umweltbedingungen auch ohne chemischen Pflanzenschutz, sicherzustellen.

Der Zuchtfortschritt bei der Zuckerrübe liegt aktuell bei etwa ein bis zwei Prozent Zuckerertragssteigerung pro Jahr. Es ist davon auszugehen, dass dieser auch in den nächsten Jahren auf dem hohen Niveau bleibt, da gerade die intensive Toleranzzüchtung die Sorten weniger anfällig gegenüber Krankheiten macht. Beim Zuckergehalt wird sich langfristig ein Plateau einstellen, da dieser physiologisch bedingt nach oben begrenzt ist.

Es wäre relevant bei Toleranzen oder Eigenschaften, die durch wenige Gene vererbt werden. Daher läge der Fokus nicht auf komplexen Merkmalen wie dem Ertrag.

Die Neuen Züchtungsmethoden würden in der Zuckerrübenzüchtung schnell Einzug halten, da sich diese auch ohne grossen Aufwand und Budgets für mittelgrosse Züchtungsunternehmen umsetzen lassen. Bis allerdings solche Sorten im konventionellen Anbau wären, würde dennoch einige Zeit vergehen.



Pollen einer Rotkleopflanze wird gesammelt, um damit eine andere Pflanze gezielt von Hand zu bestäuben. Bild: Simone Günter, Agroscope

tragen, ist hoch. Es gibt Ansätze in Richtung Hybridzüchtung. Die Vermehrung geschähe dann über Samen und würde viele Nachteile ausmerzen. Molekulare Nachweismethoden, besonders von Resistenzen, haben die Selektion in der Kartoffelzüchtung verbessert.

Sind konventionelle Züchtungen auch gut im Bioanbau?

In der Realität ist es so, dass bei Weizen etwa die Hälfte des verkauften, zertifizierten Saatguts im Bioanbau konventionelle Sorten sind. Bei Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln gedeihen konventionelle Sorten ebenfalls gut unter Biobedingungen. Im Futterpflanzenbereich sind die Grenzen zwischen den Anbauformen fließend, da hier generell kaum Pflanzenschutz betrieben wird und die Düngung teils organisch erfolgt.

Die Zuchtziele für beide Anbauformen sind überwiegend gleich. Allerdings kann die Gewichtung unterschiedlich sein. So liegt der Fokus für den Bioanbau noch einmal besonders auf einem starken, homogenen Felddaufgang, einer schnellen Jugendentwicklung und einem zügigen Bestandesschluss. Dies ist essentiell, um das Unkraut zu unterdrücken und Krankheiten zu vorzuzukommen. Im Falle von Zuckerrüben, sollten bei einer frühen Ernte schon hohe Zuckergehalte erreicht werden, da die Biozuckerrübenkampagne in den Fabriken meist schon im September startet. In der Zucht von Biokartoffeln wiederum, wird besonders an Resistenzen gegen Krankheiten wie der Kraut- und Knollenfäule oder Rhizoctonia (Wurzeltöterkrankheit) und gegen Schädlinge wie dem Drahtwurm gearbeitet. Eine Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule konnte nach jahrzehntelanger Arbeit aus Wildarten in neue Sorten überführt werden.

Viele konventionelle Zuchtprogramme setzen darauf, auch unter Biobedingungen zu testen, um dafür geeignete Sortenkandidaten nicht zu verpassen.

Hybridzuckerrübenzüchtung

Beginnt die Arbeit an einer neuen Zuckerrübensorte, wird ein sogenannter Eliteelter mit einer Pflanze gekreuzt, die eine gewünschte Toleranz- oder Resistenzeigenschaft besitzt. Selbstbefruchtung wird durch ein System mit männlich sterilen Pflanzen verhindert. Die Nachkommen werden auf die erwünschte Eigenschaft mit Marker- und Biotests überprüft. Aus den selektierten Pflanzen werden dann Testhybriden erstellt, die lange Selektionsphasen mit intensiven Feldtests durchlaufen. Zuchtziele in der Zuckerrübe hängen mit der Wettbewerbsfähigkeit und einer nachhaltigen Zuckerproduktion zusammen. Dazu gehören Ertragsstabilität, auch ohne chemischen Pflanzenschutz, Zuckergehalt sowie Cercospora-, Rizomania- und Nematodentoleranz. Resistenzen gegen Vergilbungsviren und SBR (Syndrome Basses Richesses) sind seit dem Verbot der Neonicotinoidbeizung doppelt wichtig. Eine Stresstoleranz gegen Hitze und Trockenheit gewinnt ebenfalls an Relevanz, da sie den Krankheitsbefall verstärken können. Bis Zuckerrübenproduzenten von der züchterischen Herkulararbeit profitieren können,

vergehen von der ersten Kreuzung bis zur fertigen Sorte etwa zehn Jahre. Molekulare und biotechnologische Methoden sind Standard und haben die Züchtung optimiert.

Populationszüchtung bei Futterpflanzen

Bei Futterpflanzen werden aus einer grossen Population die besten Pflanzen ausgewählt. Nur diese dürfen sich gegenseitig befruchten und Nachkommen erzeugen. Dieser Schritt kann mehrfach wiederholt werden. Die Nachkommen bilden dabei dann eine potenzielle neue Sorte. Wichtig sind Futterertrag, Ausdauer und Qualität der Biomasse (vor allem Verdaulichkeit). Resistenzen gegen Rostpilze und Bakterielle Welke (bei Gräsern) oder gegen den Südlichen Stängelbrenner und Klee-Krebs (bei Klee) sind zudem gesucht. Der Saatgutertrag ist wirtschaftlich sehr wichtig und daher schenkt Agroscope diesem Merkmal vermehrt Beachtung. Es dauert gut und gerne 18 Jahre nach der ersten neuen Kreuzung, bis der Landwirt zertifiziertes Saatgut einer Sorte kaufen kann. Es

gibt auch international Bestrebungen Hybrid-sorten zu entwickeln. Seit über einem halben Jahrhundert wird bei Futterpflanzen die Möglichkeit zur Verdoppelung des Genoms durch das Zellgift Colchizin (Alkaloid aus Herbstzeitlosen) angewendet. Die so erzeugten Sorten zeichnen sich, abhängig von der Art, durch ein höheres Ertragsvermögen sowie eine bessere Verdaulichkeit aus. Molekulare Methoden werden bei Agroscope bisher genutzt, um die Kronenrostresistenz von Italienischem Raigras zu verbessern. ■

Ohne genetische Vielfalt kann die Züchtung nicht arbeiten.

Autorin

Dr. Katharina Kempf, UFA-Revue, 8401 Winterthur