

# Landwirtschaft 2030 und die besonderen Herausforderungen an die Pflanzenzüchtung

Johann Vollmann<sup>1\*</sup>

## Zusammenfassung

Pflanzenzüchtung generiert aus genetischen Ressourcen neue Sorten und ist das Bindeglied zwischen verschiedenen Wissenschaften bzw. Technologien und den vielfältigen Anforderungen des Marktes. In den kommenden Jahrzehnten wird die Pflanzenzüchtung vor besondere Herausforderungen gestellt: Infolge des Klimawandels werden Stressresistenz-Merkmale an Bedeutung gewinnen, während neue Anforderungen an die Lebensmittelsicherheit besondere Selektions-Strategien erfordern. Der Einsatz genomischer Techniken der Selektion und neuer Verfahren der Erzeugung genetischer Variabilität wie z.B. CRISPR-Cas9 wird weiter fortschreiten. Die Komplexität der künftigen Aufgaben und auch der neuen Methoden wird jedoch auch organisatorische Änderungen in der Pflanzenzüchtung erfordern, um zukünftige Züchtungsforschung finanzieren zu können.

*Schlagwörter:* Pflanzenzüchtung, Klimawandel, Stress-toleranz, Lebensmittelsicherheit, Nachbau

## Summary

Plant breeding is generating new cultivars out of genetic resources, it is the interface between sciences/technologies and the diversity of agricultural market requirements. During the next decades, plant breeding will be exposed to various challenges: Due to climate change, stress resistance characters will gain in importance, whereas new food safety demands will also require specific selection strategies. Genome-based techniques of selection and novel procedures for inducing genetic variation such as CRISPR-Cas9 will increasingly be applied. As a consequence of the complexity of future tasks and technologies, there is also a need to re-organize plant breeding in order to secure future breeding research and development.

*Keywords:* plant breeding, climate change, stress tolerance, food safety, seed saving

## Einleitung

Pflanzenzüchtung ist der Prozess, bei dem aus genetischen Ressourcen neue Sorten entstehen, die den Anforderungen von Landwirtschaft, Industrie und Konsumenten an pflanzliche Produkte besser entsprechen als die jeweils bereits vorhandenen (*Abbildung 1*). Die Pflanzenzüchtung bedient sich dabei einer Reihe unterschiedlicher Methoden und Techniken: Einerseits sind dies die klassischen Zuchtmethoden (siehe Becker 2011), die an der Vermehrungsweise und Saatgutproduktion der Kulturarten orientiert sind (i.e. Klonzüchtung, Linienzüchtung, Populationszüchtung und Hybridzüchtung), andererseits sind dies lange etablierte Techniken wie Selektion, Kreuzung, Induktion von Mutationen, Zell- und Gewebekulturtechniken, Polyploidie etc., zu denen neuerdings genetische und genomische Techniken hinzu kommen, die sowohl Selektion als auch genetische Veränderung auf der Ebene der DNA ermöglichen. Pflanzenzüchtung ist aber nicht nur ein biologischer, sondern auch ein wirtschaftlicher Prozess, dessen Ziele an den sich ändernden Anforderungen des Marktes an neue Sorten orientiert sein müssen, um längerfristig bestehen zu können. Diese Anforderungen werden unmittelbar vor allem von der Landwirtschaft und deren Produktionsbedingungen vorgegeben, immer stärker jedoch auch von den Konsumenten

und der verarbeitenden Industrie (*Abbildung 1*). Damit stellt die Pflanzenzüchtung im agrarischen Bereich eine Schnittstelle zwischen Wissenschaften bzw. daraus entwickelten Technologien und dem Markt dar.

Das Jahr 2016 ist für die Pflanzenzüchtung ein besonderer Meilenstein: Vor genau 150 Jahren, im Jahr 1866 erschien die Publikation „Versuche über Pflanzen-Hybriden“ von Gregor Mendel in den Verhandlungen des naturforschenden Vereins, Brünn. Etwa 30-40 Jahre nach ihrem Erscheinen hat diese Publikation nicht nur zum Entstehen der wissenschaftlichen Genetik geführt, sondern auch für die damalige Pflanzenzüchtung eine bis heute gültige systematische Grundlage geschaffen. In ähnlicher Weise werden die seit den 1980er und 1990er-Jahren entwickelten genomischen Techniken derzeit zunehmend stärker in Selektionsprogramme integriert, was in den kommenden Jahrzehnten relevante Auswirkungen auf die Sortenentwicklung haben wird. Der Horizont des Jahres 2030 bzw. der darauf folgenden Jahrzehnte stellt für die Pflanzenzüchtung in Österreich eine Reihe von Herausforderungen unterschiedlicher Art dar: Diese beziehen sich zunächst auf die Zuchtziele, welche vom globalen Wandel (Klimaveränderung und deren lokale Folgeerscheinungen, wirtschaftlicher und struktureller Wandel in der Landwirtschaft) und gesellschaftlichen

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Dept. Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Pflanzenzüchtung, Konrad Lorenz Str. 24., A-3430 Tulln an der Donau

\* Ansprechpartner: Dr. Johann Vollmann, johann.vollmann@boku.ac.at





Abbildung 1: Pflanzenzüchtung als Schnittstelle zwischen Wissenschaften bzw. Technologien und den unterschiedlichen Anforderungen des Marktes.

Veränderungen stark beeinflusst werden, zweitens auf die komplexer und kostspieliger werdenden Methoden durch die Einführung genomischer Techniken und weiterer biotechnologischer Verfahren, und drittens auf die Organisation der Pflanzenzüchtung, die durch noch stärkere Konzentration und Fragen der Finanzierbarkeit geprägt sein wird. Diese drei Bereiche an Herausforderungen werden im Folgenden näher vorgestellt und diskutiert.

## Veränderte Zuchtziele

### Klimawandel

Nach derzeitigem Stand des Wissens und aufgrund von regionalisierten Modellrechnungen wird der Klimawandel bis zum Jahr 2040 in österreichischen Klimaklustern zu deutlichen Verschiebungen führen. Cluster mit geringeren Niederschlagsmengen und höheren Temperaturen breiten sich vom Nordosten Österreichs (i.e. Marchfeld, Weinviertel) nach Westen bzw. nach Süden (Südostösterreich) aus und betreffen v.a. die Ackerbauggebiete, während es im alpinen Raum je nach Szenario auch zu teils deutlichen Erhöhungen der Niederschlagsmengen kommen kann (Strauss et al. 2013). Diese Veränderungen führen bei einzelnen Kulturarten bis zum Jahr 2040 in allen Modellrechnungen zu geringeren Erträgen und deutlicher Abnahme der organischen Substanz im Oberboden, wie z.B. für die Ackerbauregion Marchfeld mittels EPIC-Simulationen für verschiedene Klimaszenarien gezeigt (Strauss et al. 2012).

Die Pflanzenzüchtung kann auf unterschiedliche Weise auf geänderte Bedingungen reagieren, um deren Auswirkungen abzumildern: Dabei sind Anpassungen v.a. an Temperatur, Trockenstress oder auch veränderten Krankheits- und Schädlingsdruck möglich. Bei Weizen führen hohe Temperaturen zur Blütezeit zu schlechter Befruchtung und damit zu verringertem Kornansatz und niedrigeren Erträgen. Temperaturstress-tolerante Formen von *Aegi-*

*lops speltoides* wurden beschrieben, die in das B-Genom des Weizens übergeführt werden könnten (Pradhan et al. 2012), um den Samenansatz bei höheren Temperaturen sicherzustellen. Trockenheitstoleranz kann u.a. über eine Selektion auf verändertes Wurzelwachstum erzielt werden, was in der Pflanzenzüchtung bisher kaum praktiziert wird. Beispiele für genetische Variabilität des Wurzelsystems bei Getreide können hier zukünftige Strategien aufzeigen (Nakhforoosh et al. 2013, Nakhforoosh 2014), es besteht aber weiterer Forschungsbedarf und z.B. eine Notwendigkeit zur Entwicklung von Screening-Methoden, die die Charakterisierung von Wurzeigenschaften in einer größeren Anzahl an Kreuzungsnachkommenschaften erlauben. Ein anderer Ansatz, der derzeit pflanzenzüchterisch verfolgt wird und auch erhebliche pflanzenbauliche Konsequenzen hat, stellt das off-season-cropping dar: Dabei werden verstärkt Winterungen eingesetzt (Winterhafer, Wintererbse, Winterackerbohne, Winterdurumweizen, Winterbraugerste, Winterzuckerrübe, Wintermohn) oder Anbauzeiten verschoben. Bei Sojabohnen können durch verfrühte Aussaat oder durch spätere Aussaat (Zweitfrucht nach Wintergetreide) Hitzestress-Perioden besser bewältigt werden. Wie *Abbildung 2* am Beispiel der Erträge der Sojabohne in Österreich zeigt, werden bei Sommerungen vor allem durch Trockenstress (z.B. Anbaujahre 2013 und 2015) erhebliche Ertragsverluste verursacht, die den jährlichen Ertragsfortschritt der Sojabohne in Österreich von bisher über 35 kg/ha und Jahr auf unter 25 kg/ha und Jahr verringern werden. Andererseits wird der geringere Ertragsfortschritt bei Sojabohnen in Österreich zumindest bis 2050 durch ansteigende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Atmosphäre und die damit verbundenen Ertragseffekte gemildert (Cajic 2003). Daneben bedingt der Klimawandel auch Veränderungen im Bereich von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen, die jedoch schwierig zu prognostizieren sind, oft regional in großer Variabilität zu Tage treten und jeweils spezifische Maßnahmen der Resistenzzüchtung erfordern.

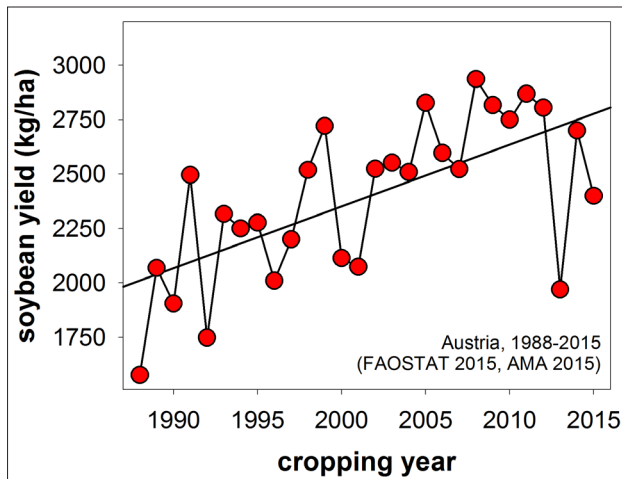


Abbildung 2: Ertragsentwicklung der Sojabohne in Österreich über den Zeitraum 1988-2015. Regressionskoeffizient  $b = +28.4$  kg/ha und Jahr.

### Nährstoffeffizienz

Die künftig vermutlich vermehrt erforderliche Selektion auf Wurzelmerkmale ist einerseits durch das Zuchtziel Trockenstress-Toleranz bedingt, andererseits aber auch durch veränderte Düngungsrichtlinien oder Gewässerschutzmaßnahmen, die eine weitere Verbesserung der Nährstoffeffizienz von Sorten wünschenswert machen. Bei Winterraps z.B. konnte in Deutschland im Zeitraum von 1987 bis 2009 die Stickstoffeffizienz von 7.1 kg N/dt Kornertrag auf 4.7 kg N/dt Kornertrag durch züchterische Selektion verbessert werden (Frauen 2011). Bei Leguminosen kann darüber hinaus die Nährstoffeffizienz auch durch effektivere Stickstoff-Fixierung (Vollmann und Schweiger 2014) erreicht werden. Für den Fall der Verbesserung der Phosphoreffizienz ist ebenfalls eine Selektion auf veränderte Wurzelarchitektur ein züchterisch möglicher Weg (Manschadi et al. 2014).

### Qualität der Produkte und Lebensmittelsicherheit

Die Qualitätsanforderungen an pflanzliche Ernteprodukte sind in stetigem Wandel begriffen und orientieren sich an den Bedürfnissen der Verarbeitungsindustrie, der Futtermittelhersteller oder der Konsumenten. Neben klassischen Qualitätsmerkmalen wie der Backfähigkeit von Brotgetreide, dem Protein-, Stärke-, Öl- oder Zuckergehalt treten im Lebensmittelbereich zunehmend Merkmale in den Vordergrund, die einen zusätzlichen Gesundheitswert für Konsumenten mit sich bringen (functional food) oder die Lebensmittelsicherheit erhöhen (z.B. Verminderung von Mycotoxinen, Allergenen, Schwermetallen).

Pflanzenzüchterische Ansätze zur Verbesserung des Gesundheitswertes von Lebensmitteln wie z.B. durch Erhöhung des Anthocyangehaltes in Weizen (Syed Jaafar et al. 2013) haben bereits zu neuen Produkten auf dem Markt (z.B. dunkle Vollkornbrote) geführt, eine Reihe weiterer derartiger Produkte ist in Entwicklung. Im Bereich der Lebensmittelsicherheit führte die Selektion auf Resistenz

gegenüber Ährenfusariosen zu verringerten Gehalten an Mycotoxinen im Getreide bzw. daraus hergestellten Lebensmitteln (Buerstmayr et al. 2009). Aufgrund des Inkrafttretens der EU-Verordnung zur Kennzeichnung von Lebensmittelallergenen dürfte auch die Verminderung von Allergenen in Zukunft stärker in den Fokus der Pflanzenzüchtung rücken. Bei Sojabohnen etwa kann das immunodominante Hauptallergen P34 durch Einkreuzung einer Null-Mutante beseitigt werden (Vollmann et al. 2015a), wodurch sich das allergene Potential von Lebensmitteln verringert. Sowohl bei Sojabohnen als auch in Durumweizen konnten durch Nutzung entsprechender QTL-Regionen Genotypen identifiziert werden, welche eine verminderte Cadmiumaufnahme aus dem Boden aufweisen (Vollmann et al. 2015b, Zimmerl et al. 2014). Dies sind bedeutende Fortschritte zu einer künftigen Verminderung der chronischen Cadmiumbelastung in Lebens- und Futtermitteln, die nicht nur für Cadmium-kontaminierte Böden, sondern auch für Standorte mit niedrigem Boden-pH-Wert relevant sind.

### Neue Methoden in der Pflanzenzüchtung

Markergestützte Selektion und Selektion auf QTL (quantitative trait loci), die quantitative Merkmale beeinflussen, stellen bereits heute Routineanwendungen in der Pflanzenzüchtung dar. Darüber hinaus könnten Ansätze der genomischen Selektion ähnlich wie in der Tierzucht zukünftig v.a. in größeren Zuchtprogrammen zu einer Verbesserung der Effizienz der Züchtungsarbeit beitragen (Ametz 2015). Daneben werden derzeit häufig auch völlig neue Technologien zur Schaffung genetischer Variation wie z.B. CRISPR-Cas9 diskutiert (z.B. Müller-Röber 2015), ihr Einsatz ist mittelfristig zu erwarten. Mit dem CRISPR-Cas9-System ist ein sog. Gen-Editieren möglich, d.h. die zielgerichtete Veränderung eines einzelnen Nucleotids innerhalb eines Gens. Da solche Veränderungen im Vergleich zu bisher praktizierten gentechnischen Modifikationen (Übertragung artfremder Gene u.ä.) im Nachhinein nicht nachgewiesen werden können, sind sie eher mit induzierten Mutationen vergleichbar und ihr methodischer Status (z.B. im Kontext des Gentechnikgesetzes) bzw. Ansätze einer Risikoabschätzung bezüglich ihrer biologischen Sicherheit stehen noch in Diskussion (Agapito-Tenfen und Wikmark 2015).

### Zukünftige Organisation der Pflanzenzüchtung

Die Pflanzenzüchtung ist in Österreich in mittelständischen Unternehmen sowie genossenschaftlich organisiert, daneben sind auch internationale Pflanzenzüchtungsunternehmen in Österreich tätig. Während die österreichischen Pflanzenzüchter auch und besonders im Bereich der regional angepassten Kulturarten neue Sorten entwickeln (z.B. auch für den Biolandbau), liegt das Augenmerk der internationalen Konzerne auf global vermarktbareren Arten bzw. Sorten, so etwa bei Mais, Sonnenblume, Sojabohne, Zuckerrübe usw. Durch die komplexer werdende Zuchtmethodik und die veränderten Zuchtziele steigt international die Konzentration der Betriebe auf immer weniger Unternehmen. Um in diesem Umfeld konkurrenzfähig zu bleiben, versuchen die österreichischen Pflanzenzüchter bislang sehr erfolgreich,

über lokale Kooperationen mit ähnlich strukturierten Partnern innerhalb Europas zu agieren. Eine bedeutende Frage, die vor allem regional angepasste Sorten und Spezialitäten und deren zukünftige Erhaltung bzw. Entwicklung betrifft (Käferbohne, Ölkürbis, Mohn usw.), ist die Frage der Wirtschaftlichkeit und damit der Finanzierbarkeit künftiger Züchtungsaktivitäten. Laut Saatgut Austria (2016) beträgt der Anteil an Nachbauseaatgut bei Weizen derzeit etwa 60%, bei anderen selbstbestäubenden Getreidearten ist er etwas geringer. Da in Österreich bislang keine Nachbauseaatgebühren eingehoben werden, werden durch diese Situation Forschungs- und Entwicklungsmöglichkeiten und Konkurrenzfähigkeit der österreichischen Pflanzenzüchter eingeschränkt. Das in Österreich vergleichsweise mangelhaft ausgeprägte Sortenbewusstsein bei den Landwirten wird daher zwangsweise zu weiteren Leistungseinschränkungen führen, die für die Landwirtschaft, die Agrobiodiversität insgesamt, aber besonders für den Biolandbau von Nachteil sind. Bei Weizen und einigen anderen Arten wird daher gegenwärtig vermehrt an der Einführung von Hybridsorten gearbeitet, wie dies z.B. bei Roggen, Ölkürbis oder Winterraps bereits in den vergangenen Jahren stattfand. Daneben hat die zu erwartende neue EU-Saatgutverordnung ebenfalls Einfluss auf die Organisation der Pflanzenzüchtung in Österreich. Internationale Diskussionsbeiträge zur Finanzierbarkeit der künftigen Leistungen der Pflanzenzüchtung oder der Rolle von Landwirte-Kooperativen im informellen Saatguttausch unterstreichen die zu erwartende Dynamik in diesem Bereich (Coomes et al. 2015, Kotschi und Wirz 2015).

## Schlussfolgerungen

Die Pflanzenzüchtung steht vor besonderen Herausforderungen: Eine Anpassung von Sorten und Kulturarten an die regional sehr unterschiedlichen Erscheinungen des Klimawandels wird in den kommenden Jahrzehnten eine prägende Aufgabe darstellen. Daneben wird auch die Züchtung auf bessere Nährstoffeffizienz der Sorten eine wichtigere Rolle spielen als bisher. Neue Qualitätsmerkmale aus dem Bereich der Lebensmittelsicherheit können darüber hinaus zu einer weiteren Diversifizierung der Sortimente innerhalb einzelner Kulturarten führen. Schließlich stehen für die Pflanzenzüchtung neue Genom-basierte Methoden der Selektion bzw. der Generierung von genetischer Variabilität vor einer breiten Einführung, und die Frage der künftigen Organisation und Finanzierbarkeit der Pflanzenzüchtung haben Auswirkungen auf die gesamte Landwirtschaft.

## Literatur

- Agapito-Tenfen S.Z. & Wikmark O.-G. (2015) Current status of emerging technologies for plant breeding: Biosafety and knowledge gaps of site directed nucleases and oligonucleotide-directed mutagenesis. Biosafety Report 2015/02, GenØk, Centre for Biosafety, Tromsø, Norway.
- AMA (Agrar Markt Austria) (2015) AMA Ertragshebung – Herbsthebung 2015. AMA, Wien. online: [www.ama.at](http://www.ama.at), 11. Jan. 2016.
- Ametz C. (2015) Genomic selection in bread wheat. Diss., Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- Becker H. (2011) Pflanzenzüchtung. 2. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Buerstmayr H., Ban T. & Anderson J.A. (2009) QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: a review. *Plant Breed.* 128, 1-26.
- Cajic V. (2003) Response of soybean yield to climate change using CROPGRO crop simulation model. Diss., Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- Coomes O.T., McGuire S.J., Garine E., Caillon S., McKey D., Demeulenaere E., Jarvis D., Aistara G., Barnaud A., Clouvel P., Empereire L., Louafi S., Martin P., Massol F., Pautasso M., Violon C. & Wencelius J. (2015) Farmer seed networks make a limited contribution to agriculture? Four common misconceptions. *Food Policy* 56, 41-50.
- FAOSTAT (2015) FAO Statistical Database. FAO, Rome. online: <http://faostat.fao.org>, 30. Dez. 2015.
- Frauen M. (2011) Qualität und Ertrag bei Winterraps. Bericht zur 61. Tagung der Vereinigung Österr. Pflanzenzüchter u. Saatgutkaufleute 2010, Lehr- und Forschungszentrum f. Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 109-113.
- Kotschi J. & Wirz J. (2015) Wer zahlt für das Saatgut? Gedanken zur Finanzierung ökologischer Pflanzenzüchtung. *Agrecol*, Göttingen, Deutschland.
- Manschadi A.M., Kaul H.-P., Vollmann J., Eitzinger J. & Wenzel W. (2014) Developing phosphorus-efficient crop varieties - An interdisciplinary research framework. *Field Crops Res.* 162, 87-98.
- Müller-Röber B. (2015) Es "crispert" in der Pflanzenzüchtung. *J. Verbr. Lebensm.* 10, 305-306.
- Nakhforoosh A. (2014) Wheat drought response strategies with special regards to root diversity. Diss., Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- Nakhforoosh A., Schuhwerk D., Bodner G., Kutschka S. & Grausgruber H. (2013) Root characteristics of durum wheat and wheat relatives. Bericht zur 62. Tagung der Vereinigung Österr. Pflanzenzüchter u. Saatgutkaufleute 2011, Lehr- und Forschungszentrum f. Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 101-103.
- Pradhan G.P., Prasad P.V.V., Fritz A.K., Kirkham M.B. & Gill B.S. (2012) High temperature tolerance in *Aegilops* species and its potential transfer to wheat. *Crop Sci.* 52, 292-304.
- Saatgut Austria (2016) Informationen der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs – Saatgut Austria. online: <http://www.saatgut-austria.at>, 11. Jan. 2016.
- Strauss F., Formayer H. & Schmid E. (2013) High resolution climate data for Austria in the period 2008-2040 from a statistical climate change model. *Int. J. Climatol.* 33, 430-443.
- Strauss F., Schmid E., Moltchanova E., Formayer H. & Wang X. (2012) Modeling climate change and biophysical impacts of crop production in the Austrian Marchfeld Region. *Climatic Change* 111, 641-664.
- Syed Jaafar S.N., Baron, J., Siebenhandl-Ehn S., Rosenau T., Böhmdorfer S. & Grausgruber H. (2013) Increased anthocyanin content in purple pericarp x blue aleurone wheat crosses. *Plant Breed.* 132, 546-552.
- Vollmann J., Watanabe D., Pachner M., Khudaykulov J. & Losak T. (2015a) Soybean quality: Adaptation to European needs. *Legume Perspectives (International Legume Society)* 8, 19-20.
- Vollmann J., Losak, T., Pachner M., Watanabe D., Musilova L. & Hlusek J. (2015b) Soybean cadmium concentration: validation of a QTL affecting seed cadmium accumulation for improved food safety. *Euphytica* 203, 177-184.
- Vollmann J. & Schweiger P. (2014) Effekte der symbiontischen Stickstoff-Fixierung der Sojabohne. 4. Umweltökologisches Symposium 2014, Lehr- und Forschungszentrum f. Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 105-108.
- Zimmerl S., Lafferty J. & Buerstmayr H. (2014) Assessing diversity in *Triticum durum* cultivars and breeding lines for high versus low cadmium content in seeds using the CAPS marker *usw47*. *Plant Breed.* 133, 712-717.