



PFLANZENZÜCHTUNG

957.106

<http://plantbreeding.boku.ac.at/957106/>

Sommersemester 2020

Heinrich Grausgruber

Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Institut für Pflanzenzüchtung
Universität für Bodenkultur Wien
Konrad Lorenz Straße 24
3430 Tulln an der Donau

Fotos Titelseite:

- Albino-Mutante bei Gerste: nicht lebensfähige Mutante – Pflanze stirbt nachdem die Reservestoffe (Energiequelle) des Endosperms aufgebraucht wurde
- Kreuzungsverband bei Durum: Kastration von in Dünnsaat stehenden Einzelpflanzen im Zentrum – Fremdbestäubung mit Pollen aus den umliegenden Genotypen erfolgt durch Wind
- Isolation von Ackerbohnen Kreuzungen: Verhinderung von Fremdbefruchtung durch Insekten
- Vermehrung/Produktion von Hybrid-Raps: männlich sterile Mutterlinie ist abwechselnd (streifenförmig) mit Pollenspender (Vaterlinie) ausgesät – stark blühende Vaterlinie wird nach Blüte entfernt um eine vermischungsfreie Ernte des Hybridsaatgutes zu ermöglichen

©alle Fotos: H. Grausgruber

EINFÜHRUNG IN DIE PFLANZENZÜCHTUNG

1. EINLEITUNG

Die Saatgutwirtschaft nimmt in der österreichischen Pflanzenproduktion eine wichtige Rolle ein. Im Jahr 2018 betrug der Inlandsumsatz der Saatgutwirtschaft ~140 Mio € (ohne Gemüse). Die Kulturpflanze mit dem größten Umsatz ist der Mais bei einer anteilmäßig vergleichbar geringen Absatzmenge von <10% von der Gesamtabsatzmenge. Die österreichische Saatgutvermehrung ist überwiegend genossenschaftlich organisiert und wurde 2018 auf einer Fläche von etwa 37700 ha durchgeführt. Die Vermehrungsfläche für Bio-Saatgut betrug 7552 ha. Bei Mais und Soja überstieg der Saatgut-Export den Inlandsabsatz. (Quelle: BMLFUW 2014: Die österreichische Saatgutwirtschaft; <https://www.bmlrt.gv.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/saatgut-sorten/Saatgutwirtschaft.html>; <https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:b28ff59c-b6c9-486d-bfc1-ff396a9c518c/Saatgutwirtschaft%202018.pdf>).

Die in der Pflanzenproduktion nach wie vor steigenden Leistungen sind nicht nur auf die stetig verbesserten Produktionstechniken in den Betrieben, sondern zu einem zunehmenden Anteil auf die verbesserten Sorten zum Aufbau der Pflanzenbestände zurückzuführen. Während in der ersten Hälfte des 20. Jh. die Ertragssteigerung in den Feldkulturen etwa zu $\frac{1}{3}$ auf die verbesserte Bodenbearbeitung und Düngung, zu $\frac{1}{3}$ auf die gezielteren und effizienteren Pflanzenschutzmaßnahmen und zu mehr als $\frac{1}{3}$ auf das verbesserte Ertragspotential der gezüchteten Sorten zurückgeführt werden konnte, stieg der Beitrag der Pflanzenzüchtung in der zweiten Hälfte des 20. Jh. auf einen fast 50% Anteil an (Abb. 1).

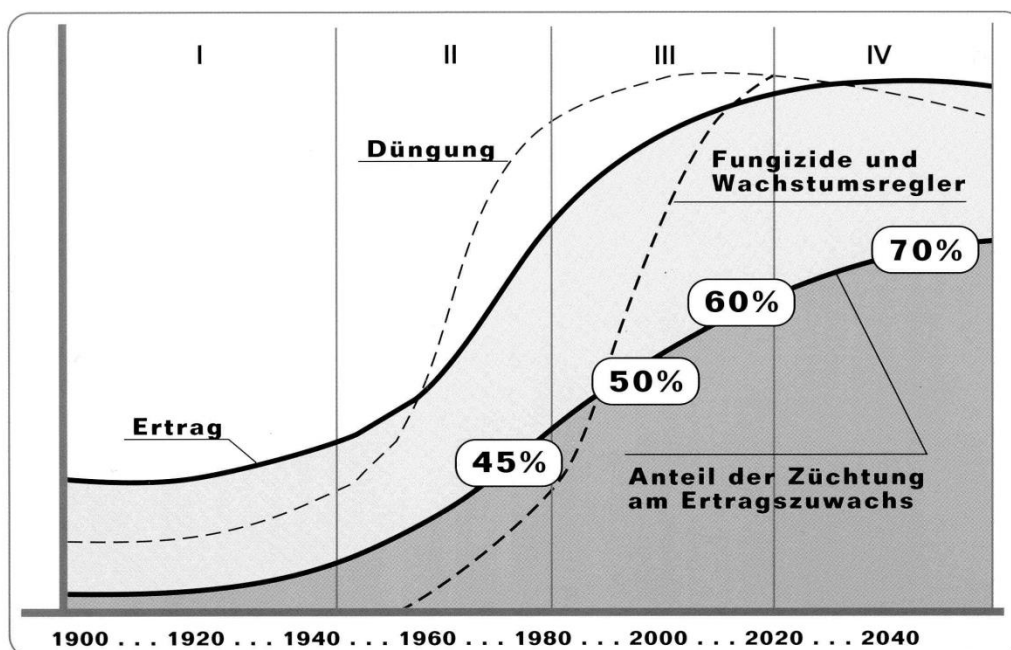


Abb. 1: Geschätzter Anteil des Züchtungsfortschrittes am Ertragszuwachs in der landwirtschaftlichen Praxis (modifiziert nach: Hänsel H, 1982: Getreidezüchtung – Erwartungen für das Jahr 2000. Wintertagung 1982, Österr. Ges. f. Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien).

Das heutige Ertragsniveau in den Kulturpflanzen Gruppen Getreide und Mais, Hackfrüchte, Ölfrüchte und Futterpflanzen ist daher auch ein Ausdruck intensivster züchterischer Bearbeitung dieser Kulturpflanzen. Die Abstimmung von Sorten auf die gegenwärtigen Bedürfnisse der Agrarmärkte stellt nicht nur auf nationaler, sondern auch auf internationaler Ebene eine ständige Herausforderung für die immer geringer

werdende Anzahl an klein- und mittelständischen Pflanzenzuchtbetrieben dar. Die in den meisten Landwirtschaftsbetrieben praktizierte Wechselwirkung zwischen Produktionstechnik und Pflanzenzüchtung – der eigentliche kreative Moment im modernen Pflanzenbau – führt dazu, dass die Sorte ausgewählt nach Standortsbedingungen und Erzeugungsrichtung immer häufiger als primäres Produktionsmittel eine zentrale Rolle in der Produktionstechnik spielt.

Dies gilt für den Ackerbaubetrieb genauso wie für Grünlandbetriebe, Gemüsebauern oder den Produzenten von Sonderkulturen. Nach der Sorte und ihren Ansprüchen richten sich fast alle Maßnahmen, die einem effizienten Aufbau von Pflanzenbeständen dienen: Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz, Pflegemaßnahmen, Ernte- und Lagertechnik.

Die Sorte mit ihrer genetisch verankerten Merkmalsstruktur ist sozusagen die entscheidende Grundenergie für die immer teurer werdenden Energiekosten in der Pflanzenproduktion geworden. Die Überwindung der vielfach als unabänderlich hingegenommenen Leistungsgrenzen in der Pflanzenproduktion – man denke nur an die häufigen ungünstigen Umweltbedingungen klimatischer, edaphischer und biotischer Natur – durch angepasste Produktionstechniken plus angepasste Kulturpflanzenarten ist heute augenfälliger als je zuvor. Dadurch sind die unverändert gebliebenen Erwartungshaltungen der Pflanzenproduzenten verständlich, die nach wie vor ihre Sortenwahl nach vier Kriterien entscheiden: (1) Ertragsleistung, (2) Qualität, (3) Ertragssicherheit, und (4) Arbeitserleichterung (Abb. 2).

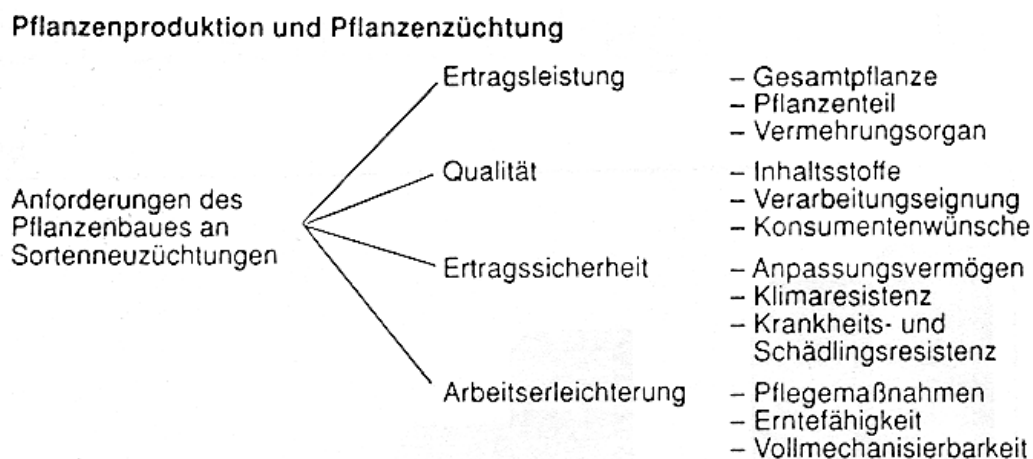


Abb. 2: Anforderungskriterien an eine Sorte von Seiten des Pflanzenproduzenten.

2. DEFINITION PFLANZENZÜCHTUNG

Aufgabe des Pflanzenzüchters ist die Schaffung von geeigneten Kulturpflanzensorten für die Produktionsbedingungen eines bestimmten Agrargebietes. Sie besteht darin, die ihm anvertrauten Objekte – die Kulturpflanzen – in ihrer genetischen Eigenschaftsstruktur so zu verändern, dass sie den obig genannten Erwartungshaltungen entsprechen. Anders als der Tierzüchter – der die genetischen Veränderungen in den laufenden Produktionsbeständen der Nutztiere durchführt – bearbeitet der Pflanzenzüchter seine Objekte außerhalb der Produktions- bzw. Feldbeständen, in sogenannten **Zuchtgärten** oder dafür eigens eingerichteten Betrieben, z.B. Pflanzenzuchtstationen. Er bedient sich zur Durchführung seiner Aufgaben der genetischen Grundlagen der Kulturpflanzen und der jeweiligen **Fortpflanzungssysteme** die für die Züchtung aber auch die Erhaltung von Sorten entscheidend sind.

Unter der Leistungsfähigkeit einer Sorte verstehen wir nicht die in einzelnen Versuchen erbrachten Ertragsleistungen, sondern ihr gesamtes erbliches Vermögen unter entsprechenden Anbaubedingungen ein bestimmtes Leistungsniveau zu erreichen. Es ist allgemein bekannt, dass Sortenleistungen durch die jeweils vorhandenen Erbanlagen oder Gene bedingt sind. Wenig bekannt ist dagegen, dass diese Merkmalsstrukturen nicht nur davon abhängen welche Gene in den Genotypen der Kulturpflanzen vorhanden sind, sondern auch davon wie diese Gene strukturell zueinander zugeordnet sind. Gibt es an den beiden homologen Genorten eines Chromosomenpaares die gleichen Genstrukturen (**Allele**) dann bezeichnen wir das davon beeinflusste Merkmal als homozygot bedingt oder reinerbig. Heterozygot hingegen ist ein **Genort**, der mit ungleichen Genen besetzt ist. Ob an einem Genort **Homozygotie** oder **Heterozygotie** überwiegt ist für das Auftreten der sogenannten Hybridwüchsigkeit von Bedeutung. Als Hybridwüchsigkeit oder **Heterosis** bezeichnet man die beim Ertrag oder anderen quantitativ vererbten Merkmalen häufig zu beobachtende Mehrleistung von Bastarden gegenüber ihren homozygoten Eltern.

Die genetische Struktur einer Sorte ist immer das Resultat ihres züchterischen Werdeganges. Entscheidend dafür ist dabei die Art des jeweiligen Fortpflanzungsprozesses aus dem das Saat- oder Pflanzgut der Sorte bei ihrer Entstehung oder Vermehrung hervorgeht. Die Pflanzenzüchter bedienen sich daher der drei von der Natur vorgegebenen **Vermehrungsprozessen** – **vegetative Vermehrung**, **Selbstbefruchtung**, **Fremdbefruchtung** – plus einem Vermehrungstypus den der Mensch selbst steuern kann, nämlich der kontrollierten Kreuzung oder **Hybridisierung**. Diese Vermehrungsprozesse stellen sozusagen die Grundlage der sogenannten Züchtungskategorien dar, in denen alle gegenwärtigen **Züchtungsmethoden** eingeordnet bzw. zugeordnet werden können (Tab. 1).

Tabelle 1: Die vier Grundtypen heutiger Sortenstrukturen (nach Schnell, 1969)

	Fortpflanzungsprozess zur Herstellung von Saatgut	Phänotypische Variabilität zwischen Pflanzen	Genetische Struktur der Einzelpflanzen
Klonsorten	<i>vegetative Vermehrung</i> in der Sorte	sehr gering	heterozygot
Liniensorten	<i>Selbstbefruchtung</i> in der Sorte	gering	nahezu homozygot
Populationsorten	<i>offenes Abblühen</i> in einer großen Sortenpopulation	erheblich	heterozygot
Hybridsorten	<i>kontrollierte Kreuzung</i> von Erbkomponenten	gering bzw. mäßig	heterozygot

Aus dieser Tabelle geht nicht nur die jeweilige Fortpflanzungsart hervor, sondern sie zeigt auch die unterschiedliche genetische Variabilität zwischen den Pflanzen einer Sorte und ihre genetische Struktur auf. Dadurch sind Sortentypen eindeutig identifizierbar:

KLONSORTEN, wie z.B. Kartoffel, unterscheiden sich nur zwischen den Sorten, die Pflanzen innerhalb eines Sortenbestandes sind zwar heterozygot, aber durch ihre vermehrungstechnische Herkunft genetisch völlig ident.

LINIENSORTEN, wie z.B. Weizen, weisen innerhalb des Bestandes durch ihre hochgradige Homozygotie nur eine geringe bis kaum identifizierbare Variabilität auf. Die Einzelpflanzen sind charakterisiert durch eine hochgradige Homozygotie an allen ihren Genorten.

POPULATIONSSORTEN, wie z.B. Roggen, unterscheiden sich sehr deutlich von den beiden obig genannten Sortentypen. Sie entstehen aus panmiktischen (d.h. sich zufällig fremdbefruchtenden) Populationen, sind daher hochgradig heterozygot und weisen aus diesem Grunde eine hohe genetische Variabilität innerhalb des Pflanzenbestandes auf. Sortenunterschiede sind daher nur durch einzelne Merkmale wie z.B. Frühreife oder Ährentypen identifizierbar.

HYBRIDSORTEN, wie z.B. Mais, sind in ihren genetischen Strukturen zwar hochgradig heterozygot, weisen allerdings aufgrund ihres Kreuzungstypus ein hohes Maß an Uniformität auf, d.h. die genetische Variabilität innerhalb des Bestandes ist je nach Hybridtyp (Einfach- oder Mehrfachhybride) gering bis mäßig.

3. ZÜCHTUNGSKATEGORIEN

3.1. KLONZÜCHTUNG

Die Klonzüchtung wird bei Pflanzen mit vegetativer Vermehrung angewendet, wie z.B. bei Kartoffeln, Batate, Zuckerrohr, Banane, Apfel, Weinrebe, Erdbeere, Rhabarber, Hopfen, Cassava oder Yams, etc.

Bei der Klonzüchtung wird die **vegetative Fortpflanzungsweise von einer sexuellen Kreuzung unterbrochen** (Abb. 4) bevor die **weitere Vermehrung** wiederum **vegetativ** erfolgt. Da vegetativ vermehrte Pflanzen hochgradig heterozygot sind, kommt es zu einer starken Aufspaltung und die Nachkommen einer Kreuzung zeigen eine große genetische Variabilität. Jeder dieser **Sämlinge** kann zu einer neuen Sorte werden, da die weitere Vermehrung ausschließlich vegetativ erfolgt und es somit zu keinen genetischen Veränderungen mehr kommt. In der Klonzüchtung kann damit die **gesamte genetische Variation genutzt** werden. Von jedem selektierten Sämling werden mehrere Nachkommen als sogenannte A-Klone angepflanzt. Von den selektierten A-Klonen werden alle Pflanzen geerntet. Das Erntegut wird verwendet um bereits größere Parzellen von B-Klonen anzubauen. Diese Selektionszyklen werden mehrmals wiederholt. Von diesem vereinfachten Schema (Abb. 3) wird in der Regel etwas abgewichen. So findet in einigen Zuchtprogrammen z.B. in der Sämlingsgeneration noch keine Selektion statt, sondern es wird von jedem Sämling eine Knolle geerntet und angebaut und erst in der nächsten Generation wird dann zwischen den Einzelpflanzen selektiert.

Im Hinblick auf die Erhaltungszüchtung stellen Klonsorten prinzipiell keine Schwierigkeiten dar, da sie problemlos vegetativ vermehrt werden und Einkreuzungen und/oder Mutationen eher selten vorkommen. Besondere Bedeutung hat die Erhaltungszüchtung allerdings bei den Kartoffeln, die von zahlreichen Viren gefährdet sind. Bei vegetativer Vermehrung werden diese Viren automatisch auf die nächste Generation übertragen. Die **Erhaltungszüchtung** von Kartoffeln erfolgt daher in sogenannten **Gesundlagen** mit einem geringen natürlichen Vorkommen an Blattläusen, die Vektoren für die wichtigsten Kartoffelviren sind. Solche Gesundlagen sind in Österreich das Wald- und Mühlviertel und der Lungau (Abb. 5), wo es aufgrund niedriger Jahresmitteltemperaturen zu einem eher seltenen Auftreten von Blattläusen kommt.

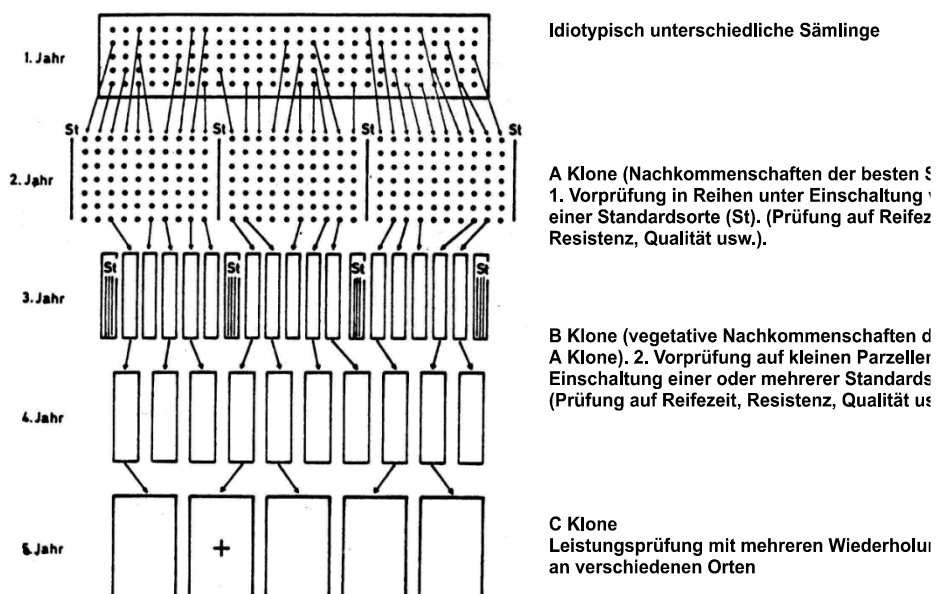


Abb. 3: Schema der Klonauslese bei einer vegetativ vermehrbaren Art, z.B. Kartoffel.



Abb. 4: Kartoffelzüchtung: „Knollenmelkmethode“ (Produktion von hochwüchsigen Pflanzen mit vielen Blüten) – Kartoffelblüte (Kastration und kontrollierte Bestäubung → sexuelle Rekombination) – Beeren mit Kreuzungssamen – Produktion von Sämlingen im Gewächshaus (danach vegetative Vermehrung durch Knollen).



Abb. 5: Erhaltungszüchtung von Kartoffeln in Gesundlagen: Blattläuse sind die wichtigsten Überträger von Virose. Die Vermehrung von Kartoffeln – bei denen Viruserkrankungen eine große Rolle spielt – erfolgt daher bevorzugt in Gegenden mit geringem bis keinem Blattlausbeflug, wie z.B. im Mühl- und Waldviertel oder dem Salzburger Lungau (Fotoquelle: Lungauer Saatbauverein, <http://www.eachtling.at>).

3.2. LINIENZÜCHTUNG

Ausgangspunkt für die Züchtung einer Liniensorte ist die Kreuzung zwischen zwei Eltern. Ab der ersten spaltenden Generation, der F_2 , können verschiedene Strategien eingeschlagen werden.

Bei der **STAMMBAUMMETHODE** (*pedigree method*) (Abb. 6-7) werden in der F_2 Einzelpflanzen selektiert, deren Nachkommenschaften in Reihen angebaut werden. In der F_3 wird nun zunächst zwischen den Reihen selektiert, anschließend werden innerhalb der selektierten Reihen die besten Einzelpflanzen ausgewählt. In der nächsten Generation, der F_4 , wird dann auf drei Ebenen selektiert: zunächst zwischen den Familien, d. h. zwischen Nachkommenschaften, die auf dieselbe F_3 -Reihe und damit auf dieselbe F_2 -Einzelpflanze zurückgehen, anschließend werden innerhalb der Familien die besten Reihen und innerhalb dieser wiederum die besten Einzelpflanzen selektiert. Die Selektion erfolgt im Zuchtgarten aufgrund phänotypischer Merkmale, wie Ährenschieben, Wuchshöhe, Resistenzen, etc. Nach der Ernte erfolgt eine Selektion im Labor anhand von z.B. Kornmerkmalen etc. Etwa ab der F_6 (theoretisch zu 96,9% homozygot) werden ganze Reihen selektiert und geerntet.

Bei der **RAMSCHMETHODE** (*bulk method*) (Abb. 6)

wird die gesamte F_2 geerntet und in den folgenden Generationen immer wieder eine zufällige Stichprobe der Ernte ausgesät. Diese Ramschgenerationen unterliegen nur den Einflüssen einer natürlichen Selektion. Wenn die Pflanzen einen hinreichend hohen Homozygotiegrad erreicht haben, werden sie einzeln angebaut, und die Selektion zwischen ihnen beginnt. Somit sind etwa ab der F_5 Ramsch- und Stammbaummethode identisch. Nun haben die Genotypen einen hohen Homozygotiegrad erreicht und es gilt die beste(n) Linien zu finden.

Die natürliche Selektion während der Ramschgenerationen erfolgt zufällig und kann zu unerwünschten Ergebnissen führen, dass z.B. mehrere Pflanzen in den späteren Generationen auf ein und dieselbe F_2 Pflanze zurückzuführen sind. Eine Modifikation der Ramschmethode, um solche unerwünschten Effekte zu beseitigen, stellt der **EINKORNRAMSCH** (*single seed descent, SSD*) (Abb. 8-9) dar. Dabei wird in jeder Generation von jeder Pflanze nur ein Korn geerntet und wieder ausgesät. Da beim Einkornramschr die natürliche Selektion während der Ramschgenerationen nicht genutzt wird, sind die Umweltbedingungen ohne Bedeutung und die Methode kann zur Beschleunigung des Zuchtlaufes auch im Glashaus durchgeführt werden. Eine Verkürzung des Zuchtlaufes kann auch durch die Erzeugung von **Doppelhaploiden** erfolgen. Dabei wird vollständige Homozygotie künstlich in einem einzigen Schritt erreicht, anstatt einer Reihe von Generationen mit natürlicher Selbstbefruchtung. Eine weitere Modifikation der Ramschmethode ist die **TEILRAMSCH-METHODE**. Beim F_2 Teilramschr werden von F_2 Einzelpflanzen Teilramschr gebildet, die bereits in den frühen Generationen einer Ertragsprüfung unterzogen werden. Es wird eine Selektion zwischen den Teilramschr vorgenommen, wodurch die spätere Selektion von Einzelpflanzen bereits in einem vorselektierten Teil der gesamten Kreuzungsnachkommenschaft vorgenommen wird.

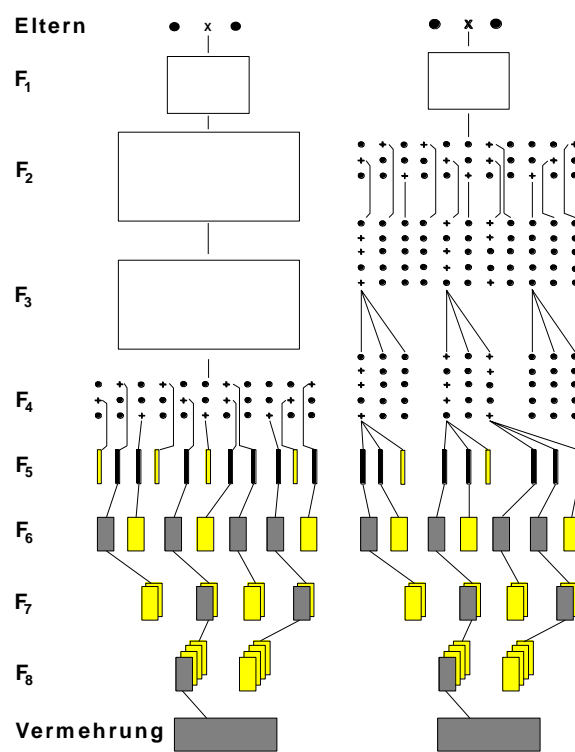


Abb. 6: Schemen der Linienzüchtung: Ramsch- (links) und Stammbaummethode (rechts) (nach Becker 1993).

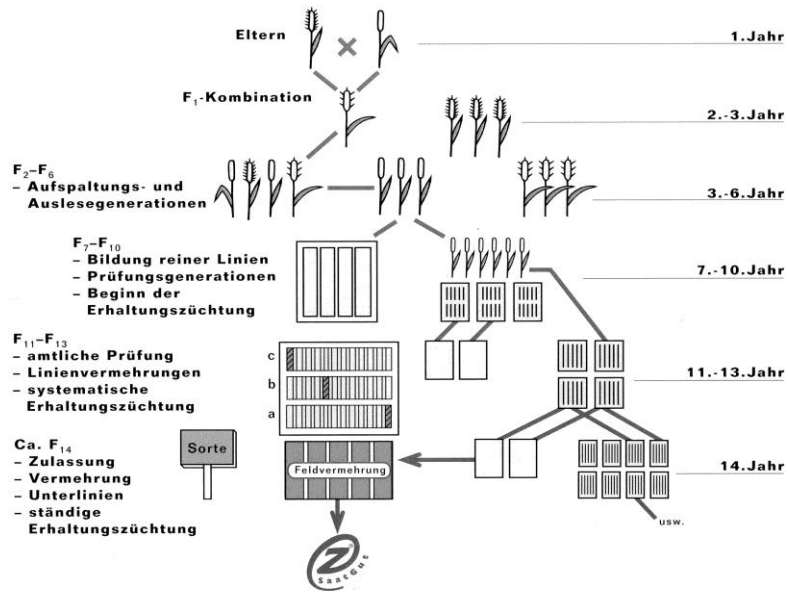


Abb. 7: Zusammenfassende schematische Darstellung des Zuchtablaufes einer neuen Linien-sorte (Bsp. Weizen) (Quelle: Saatzgut Austria 1998).

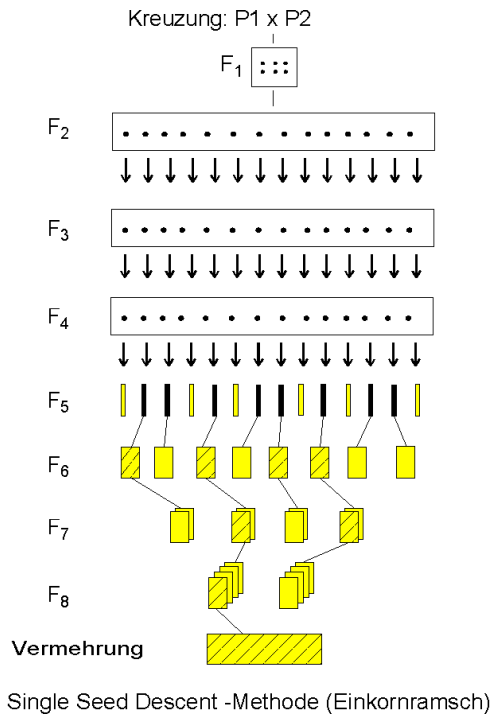


Abb. 8: Schematische Darstellung des Einkornramsch



Abb. 9: Einkornramsch bei Kohl-(Steck-)Rübe (*Brassica napus*) im Glashaus (Scottish Crop Research Institute) und bei Sojabohne am Feld.

ERHALTUNGSZÜCHTUNG

Die Erhaltungszüchtung hat den Zweck, Sorten von Vermischungen und Mutationen zu bereinigen. Jedes Jahr werden Einzelpflanzen oder -ähren geerntet und im Folgejahr getrennt voneinander angebaut. Die Nachkommenschaften, die in irgendeinem Merkmal vom Sortenbild abweichen, werden verworfen. Die dem Sortenbild entsprechenden Nachkommenschaften werden weitervermehrt. Dadurch werden Liniensorten dem Sortenbild entsprechend erhalten, da auch nach mehr als zehn Generationen noch eine Aufspaltung in gewissen Merkmalen erfolgen kann. Auf diese Art und Weise rückt aus der Erhaltungszucht jährlich eine neue Auslesegeneration nach. Erhaltungszucht verhindert nicht den Abbau, sondern bringt in jedem Jahr eine neue Auslesegeneration mit der vollen Sortenvitalität auf die Felder. In einzelnen Fällen kann es durch die Erhaltungszucht sogar zu einer *Verbesserung* der Sorte kommen.

Obwohl die Erhaltungszüchtung (Abb. 10) technisch einfach durchzuführen ist, ist sie sehr aufwendig. Der Aufwand der Zuchtbetriebe für die Erhaltungszüchtung ist vielfach bereits gleich groß wie für die Neuzüchtung (Abb. 7).

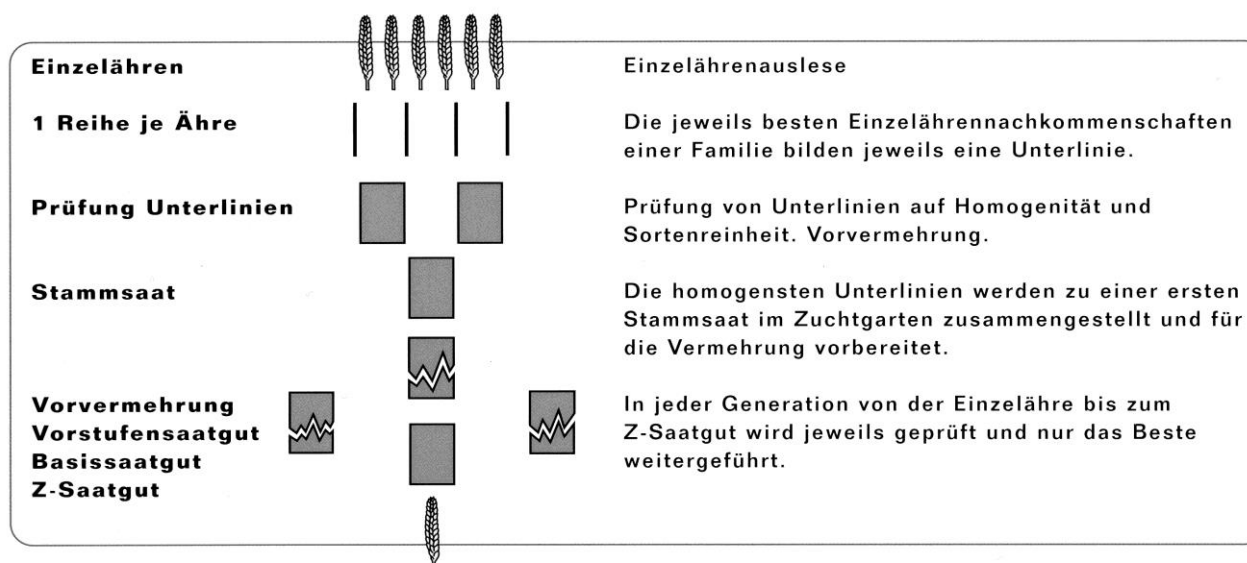


Abb. 10: Zusammenfassende schematische Darstellung des Ablaufes der Erhaltungszüchtung (Quelle: Saatgut Austria 1998).

3.3. POPULATIONSZÜCHTUNG

Die Populationszüchtung von Fremdbefruchtern umfasst eine Vielzahl an verschiedenen Zuchtmethoden. Die einfachste und daher älteste Zuchtmethode ist die **Massenauslese** (Abb. 11). Dabei werden aus einer genetisch variablen Ausgangspopulation jene Pflanzen selektiert, die die erwünschten Merkmale besitzen. Das Erntegut der selektierten Pflanzen wird gemischt und als Saatgut für eine nun verbesserte Population verwendet. Diese verbesserte Population kann bereits als Sorte vermehrt werden oder wiederum Ausgangspopulation für eine weitere Auslese sein.

Am wirksamsten ist eine Massenauslese, wenn sie vor der Blüte durchgeführt wird. Damit können sich nur die selektierten Pflanzen untereinander befruchten, während im Falle einer Selektion nach der Blüte die Pollenwolke auch Pollen von unerwünschten Pflanzen enthält. In anderen Worten: bei einer Selektion vor der Blüte wird sowohl mütterlicher- als auch väterlicherseits selektiert, eine Selektion nach der Blüte ist jedoch nur auf der mütterlichen Seite und damit nur halb so wirksam. Allerdings sind bei generativ genutzten Arten, wie z.B. Getreide, viele agronomische Eigenschaften erst nach der Blüte beurteilbar, wie z.B. Resistenzen gegen Ährenkrankheiten, Frühreife etc.

Während der Genotyp einer Pflanze bei der Massenauslese nur an der Pflanze selbst beurteilt wird, gehört die **Restsaatgutmethode** oder **Mutterstammbaum-Methode** (Abb. 12) zu den Verfahren, bei denen die Beurteilung vor allem an den Nachkommenschaften der Pflanze erfolgt. Wie bei der Massenauslese werden zu Beginn aus einer variablen Ausgangspopulation die den erwünschten Merkmalen entsprechenden Pflanzen selektiert. Ein Teil des Erntegutes der Einzelpflanzen wird getrennt angesät, der Rest des Erntegutes wird überlagert. An den Nachkommenschaften der selektierten Pflanzen, die in Einzelreihen oder Mikroparzellen angebaut sind, lassen sich die züchterisch relevanten Merkmale zuverlässiger beurteilen als an Einzelpflanzen. Die Selektion erfolgt nun zwischen den Reihen/Mikroparzellen, deren Unterschiede nur auf der Mutterpflanze beruhen, da sie ja von einer einheitlichen Pollenwolke bestäubt wurden. Es erfolgt somit eigentlich eine Selektion der Mutterpflanzen auf Basis der Nachkommenschaften. Für den nächsten Anbau wird das überlagerte Saatgut der selektierten Mutterpflanzen verwendet. Damit erfolgt im nächsten Jahr eine

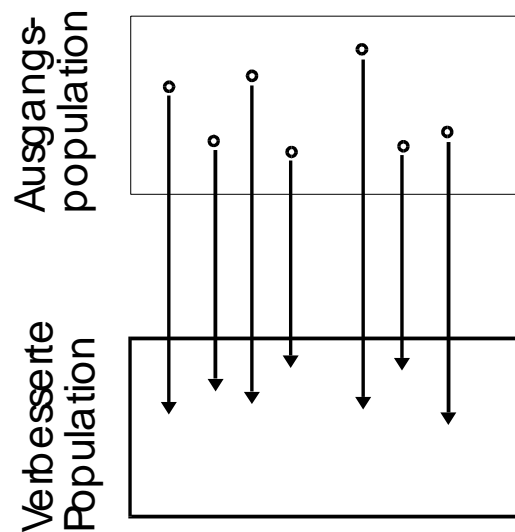


Abb. 11: Schema einer Massenauslese

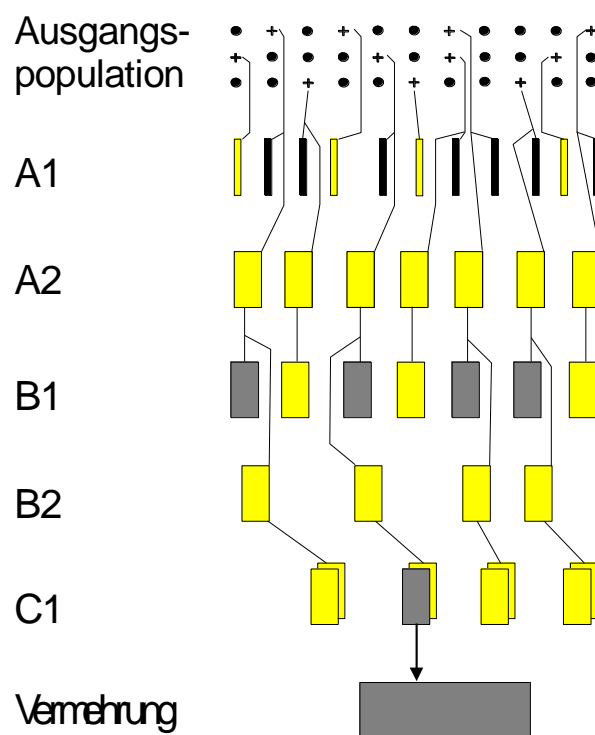


Abb. 12: Schema der Restsaatgutmethode

Bestäubung mit einer selektierten Pollenwolke und es kommt zu einer verbesserten Population. Wie bei der Massenauslese kann dieser Selektionszyklus mehrmals wiederholt werden.

Synthetische Sorten (*synthetics*) entstehen durch offene Bestäubung einer eingeschränkten Anzahl von selektierten elterlichen Komponenten und anschließender Vermehrung über mehrere Generationen unter offenem Abblühen. Die Schwierigkeit in der Herstellung von synthetischen Sorten liegt in der Auswahl der elterlichen Komponenten. Idealerweise sollten die einzelnen Komponenten genetisch unverändert erhalten werden können. Deshalb finden sich *Synthetics* v.a. bei Futterpflanzen, die sich vegetativ (*Klonung*) vermehren und erhalten lassen. Zu Beginn der Züchtung eines *Synthetics* werden die einzelnen Klone, wie die Inzuchtlinien bei der Hybridzüchtung, auf ihre allgemeine **Kombinationseignung** (*general combining ability*, GCA) geprüft. Das Testkreuzungsverfahren dazu ist der **Polycross**. Nach dem offenen Abblühen im Polycrossblock werden die Nachkommenschaften der einzelnen Klone auf ihre Leistung geprüft. Jene Klone, die die höchsten GCA-Werte zeigen, werden schließlich für die Herstellung der synthetischen Sorte verwendet (Abb. 13). Der Großteil der synthetischen Sorten besteht aus weniger als 10 elterlichen Komponenten. *Synthetics* können entweder regelmäßig neu aufgebaut werden, falls die elterlichen Komponenten getrennt erhalten werden, oder sie können, wie jede andere Populationssorte, einfach durch ständiges, offenes Abblühen erhalten werden. Nur bei einer regelmäßigen Neusynthese ist es allerdings möglich, Saatgut einer definierten *Syn*-Generation in den Handel zu bringen.

3.4. HYBRIDZÜCHTUNG

Hybridsorten entstehen durch eine kontrollierte Kreuzung von zwei elterlichen Komponenten. Kontrollierte Kreuzungen können mechanisch (Handkreuzungen), chemisch (Gametozide) oder genetisch (Pollensterilität) erfolgen. Hybridzüchtung wird vor allem bei Fremdbefruchtern eingesetzt. Dabei macht man sich nicht nur die **Heterosis** (Mehrleistung gegenüber dem Elternmittel) zunutze, sondern auch die Homogenität der Hybriden, die bei Populationssorten nicht erreicht wird. Um einen möglichst hohen Heterosiseffekt zu erreichen werden in der Regel Mütter- und Väterlinien aus zwei verschiedenen Genpools verwendet, die also genetisch möglichst weit voneinander entfernt sind.

Hybridsorten von Fremdbefruchtern entstehen in der Mehrzahl durch Kreuzung von Inzuchtlinien. Die Inzuchtdepression während der Selbstungsgenerationen ist sehr groß und einige Inzuchtlinien können aufgrund rezessiver Letalfaktoren, die erst im homozygoten Zustand zum Tragen kommen, absterben. Die verbliebenen Inzuchtlinien werden einer Prüfung auf Eigenleistung und Testkreuzungen unterzogen, um die allgemeine Kombinationseignung (*general combining ability*, GCA) festzustellen. Jene Linien, die sich durch eine

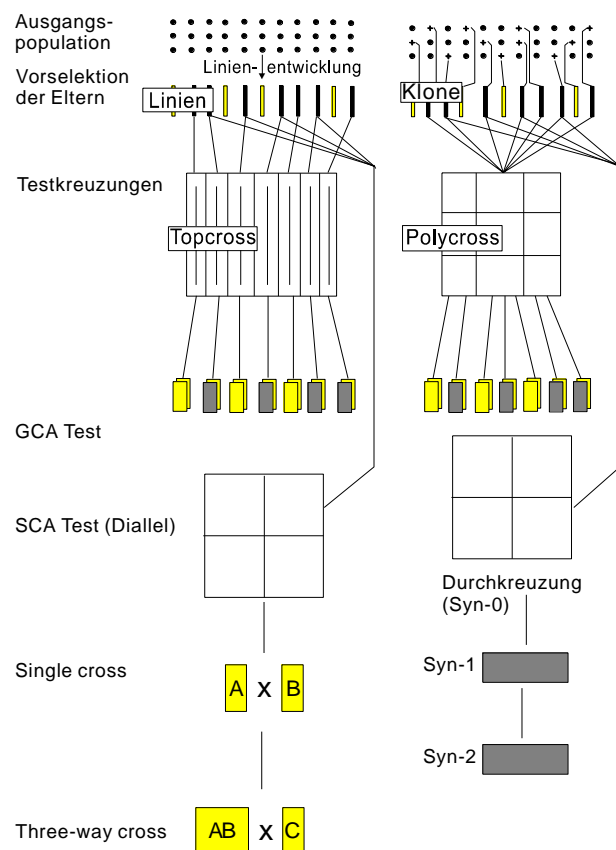


Abb. 13: Schema Hybridzüchtung (Topcross) und Synthetic (Polycross).

hohe GCA auszeichnen werden weiterverwendet und weiteren Testkreuzungen unterzogen, um neben der GCA auch die spezielle Kombinationseignung (*specific combining ability*, SCA) zu ermitteln. Aufgrund dieser Testkreuzungen werden dann spezifische Kreuzungskombinationen zwischen den Inzuchtlinien hergestellt aus denen eine neue Hybridsorte hervorgehen kann (Abb. 13). Hybridsorten sind vor allem bei Mais, Sonnenblumen, Zuckerrüben und diversen Gemüsearten dominierend. Steigende Anbauflächen für Hybridsorten konnten in den letzten Jahren auch bei Roggen und Raps verzeichnet werden. Auch bei verschiedenen Selbstbefruchtern, wie Weizen und Reis, gibt es mittlerweile Hybridsorten, die allerdings bisher keine wesentliche Bedeutung erlangten, da die Mehrleistung gegenüber Liniensorten bisher nicht höher ist als der Züchtungsfortschritt bei den besten Liniensorten.

Je nach Anzahl der beteiligten Elternlinien kann man zwischen **Einfachhybriden** (*single cross*, $A \times B$), **Dreiwegehybride** (*three-way cross*, $(A \times B) \times C$) oder **Doppelhybride** (*double cross*, $(A \times B) \times (C \times D)$) unterscheiden. In Abhängigkeit vom verwendeten Hybridmechanismus ist die Saatgutproduktion von Hybridsorten mit einigen technischen Schwierigkeiten verbunden. Relativ einfach ist die Saatgutproduktion bei Mais. Auf einem isolierten Feld werden die väterlichen und mütterlichen Inzuchtlinien in abwechselnden Reihen angebaut. Kurz vor Beginn der männlichen Blüten werden diese in den Reihen der mütterlichen Inzuchtlinie entfernt (**Entfahnen**). Um einen möglichst hohen Saatgutertrag pro Hektar zu erreichen, werden mehr Mutter- als Vaterlinien angebaut, z.B. abwechselnd 4 Reihen Mutter, 2 Reihen Vater (siehe Fotoserie Produktion von Hybridsaatgut, Abb. 14-21).

Im Gegensatz zu Linien-, Populations- oder Klonsorten können Hybridsorten nicht ohne Leistungsrückgang nachgebaut werden. Bei einem Nachbau kommt es zu einer Aufspaltung, da die Nachbaugeneration genetisch einer F_2 entspricht. Damit geht die Hälfte der Heterosis verloren. Für den Züchter einer Hybridsorte ergeben sich dadurch zwei wesentliche Vorteile: erstens ist die Sorte gegen eine illegale Vermehrung geschützt, da sie nur hergestellt werden kann, wenn man über die elterlichen Linien verfügt und zweitens ist der Landwirt zu einem 100% Saatgutwechsel gezwungen, wenn er die vollständige Leistungsfähigkeit der Hybridsorte nützen will.

Abb 14: Hybridmaisproduktion: vier Reihen Mutter-Inzuchtlinie (2 zwischen den Traktorspuren, jeweils 1 links und rechts davon), 3 Reihen Vater-Inzuchtlinie (Bestäuber) – enger angebaut in Saatzeitstufen damit eine Pollenausschüttung über einen längeren Zeitraum gewährleistet ist und somit eine sichere Bestäubung der Mutterlinie erfolgt. Wenn die Mutterlinie nicht ein Gen für männliche Sterilität trägt, muss diese vor dem Abblühen der eigenen Rispen entfahnt werden (mechanische Entfernung der Rispe).



Bei Verwendung eines cms (cytoplasmatisch männliche Sterilität) Genetik muss die Vaterlinie ein sog. Restorer gen tragen und dieses in den F_1 -Hybriden einbringen, damit in der nächsten Generation (Anbau beim Landwirt) eine Befruchtung und somit ein Samenansatz gewährleistet ist.



Abb 15: Hybridmaisproduktion: 4 Reihen Mutter-Inzuchtlinie : 3 Reihen Vater-Inzuchtlinie (Bestäuber).



Abb. 16: Stelzengerät mit höhenverstellbarer Mähvorrichtung; letztere kann einerseits zum Entfahnen verwendet werden, als auch nach dem Abblühen (Bestäuben) der Vaterlinien zum Abmähen dieser; die Vaterlinien werden in der Hybridsaatgut nicht geerntet; die Erhaltung der Vater-Inzuchtlinien erfolgt gesondert in einem eigenen Zuchtgarten.



Abb. 17: Saatgut der beiden Einzelkomponenten (Mutter-, Vater-Inzuchtlinie) muss getrennt voneinander vermehrt, getrennt anerkannt und getrennt verpackt werden (Vorstufensaatgut, Basissaatgut). Bei der Produktion von Originalsaatgut erfolgt ihr Anbau abwechselnd in Reihen (siehe Abb.14). Foto links: fertile Mutter- und Vater-Inzuchtlinien – bei Produktion Entfahnung notwendig; Foto rechts: männlich sterile Mutter-Inzuchtlinie und fertile Vater-Inzuchtlinie – Entfahnung nicht notwendig, da keine Selbstbefruchtung möglich ist.



Abb. 18: Hybridraps-Vermehrung: Streifen von männlich steriler Mutterlinie (am Foto bereits abgeblüht) werden abwechselnd mit Streifen der pollenfertilen Vaterlinie ausgesät. Die Vaterlinie soll über einen möglichst langen Zeitraum abblühen, damit eine sichere Befruchtung möglich ist. Zudem muss die Vaterlinie sogenannte „Restorer“-Gene enthalten, welche an den Hybriden weitergegeben werden und in der folgenden F₁-Generation die Pollensterilität aufheben. Nach der Blüte werden die Streifen Vaterlinien eingehäckselt, sodass zur Ernte nur die Mutterlinien mit dem darauf gebildeten Hybridsaatgut am Feld vorhanden sind und somit keine Vermischung des Saatgutes stattfindet.



Abb. 19: Saatgut-Vermehrungen müssen am Feld durch eine Tafel als solche gekennzeichnet werden. Für eine erfolgreiche **Feldanerkennung** müssen eine Reihe von Kriterien erfüllt werden, z.B. Mindestabstände zu anderen Beständen der gleichen Kulturart (bei Fremdbefruchtern sind diese Abstände natürlich größer), frei von Unkräutern und anderen Kulturarten etc. Nach der Ernte erfolgt die Prüfung des Saatgutes auf Verunreinigungen, saatgutbürtige Krankheiten, Keimfähigkeit etc. Im Falle einer positiven **Laboranerkennung** wird die **Endgültige Anerkennung** ausgestellt und das Saatgut darf abgepackt, zertifiziert/plombiert und vermarktet werden.



Abb. 20: Um eine optimale Befruchtung zu gewährleisten blüht der Pollenspender nicht nur länger ab, sondern er ist oftmals auch in seinem Wuchs etwas höher als die Mutterlinie. Damit wird die Windbetäubung erleichtert.



Abb. 21: Ernte des Mais-Hybridsaatgutes: Pollenspender (Vater) Reihen wurden bereits nach der Blüte entfernt. Von den verbleibenden 4-Reihen Mutterlinie werden durch spezielle Erntemaschinen die Kolben gepflückt („Maispflücker“) die im Saatzuchtbetrieb weiter aufbereitet werden.

Weiterführende Literatur:

- Becker H (2011) Pflanzenzüchtung, 2. überarb. Aufl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Hoffmann W, Mudra A, Plarre W (1971) Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Band 1. Allgemeiner Teil. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Kuckuck H, Kobabe G, Wenzel G (1985) Grundzüge der Pflanzenzüchtung. Walter de Gruyter & Co., Berlin.
- Miedaner T (2010) Grundlagen der Pflanzenzüchtung. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt.
- Schnell FW (1969) Leistung und Struktur heutiger Zuchtsorten. Vorträge des 5. Landwirtschaftlichen Hochschultages, pp 56-75. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Rheinland-Pfalz, Mainz.
- Schnell FW (1982) A synoptic study of the methods and categories of plant breeding. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 89, 1-18.
- Stoskopf NC, Tomes DT, Christie BR (1993) Plant Breeding. Theory and Practice. Westview Press, Inc., Boulder.

4. PFLANZENZÜCHTUNG IN ÖSTERREICH

Die wichtigsten österreichischen Pflanzenzuchtbetriebe, die noch originäre Pflanzenzüchtung betreiben sind in Abb. 22 dargestellt. Die jeweils aktuelle Österreichische Sortenliste ist im Internet abrufbar (<http://www.ages.at>). Die Züchtungsagenden der Probstdorfer Saatucht (www.probstdorfer.at) und der Saatbau Linz (www.saatbaulinz.at) wurden vor einigen Jahren zur Saatucht Donau (www.saatzucht-donau.at) zusammengelegt. Dadurch entstand der größte österreichische Getreidezuchtbetrieb. Die Saatucht LFS Edelhof (www.saatzucht.edelhof.at) ist der letzte Winterroggenzüchter Österreichs (nicht in Abb. 22 angeführt!), die NÖ Saatbaugenossenschaft (www.noes.at) der letzte Kartoffelzüchter und die Saatucht Gleisdorf (www.saatzuchtgleisdorf.at) der einzige Zuchtbetrieb der sich mit der Neuzüchtung von Ackerbohne und Ölkürbis beschäftigt. Maiszüchtung wird noch von der Saatbau Linz und der Saatucht Gleisdorf betrieben. Weitere Maiszuchtbetriebe in Österreich sind Tochterunternehmen von international tätigen Unternehmen (KWS Austria Saat, Wien; Corteva Agriscience (hervorgegangen aus der Fusion von Pioneer Hi-Breed, Dow Agriscience & Du Pont), Parndorf). Kleinere Zuchtprogramme finden in Raumberg-Gumpenstein (www.raumberg-gumpenstein.at; Gräser, Klee), bei J. Gahleitner, Arnreit (www.biosa.at; Biozüchtung Ackerbohne und Dinkel), Saatucht Piatti, Loosdorf bei Mistelbach (www.piatti.at; Biozüchtung Winterweizen), der Reinsaat, St. Leonhard/Hornerwald (www.reinsaat.co.at; Gemüse) und der Universität für Bodenkultur (Weizen, Gerste, Sojabohne, Leindotter) statt. Im Bereich Gemüse sind die österreichischen Aktivitäten hauptsächlich bei der Austro Saat (www.austroaat.at) konzentriert. Bei einzelnen Kulturarten gibt es auch noch kleinere Züchtungsaktivitäten, v.a. Erhaltungszüchtung von alten Sorten, bei einzelnen Landwirten (z.B. Attergauer Dinkel – J. Schernthaner; Laer Zwiebeln – J. Peitl; Ölkürbis Retzer Gold – L. Pischinger) und Initiativen (z.B. AG Bauernparadeiser).

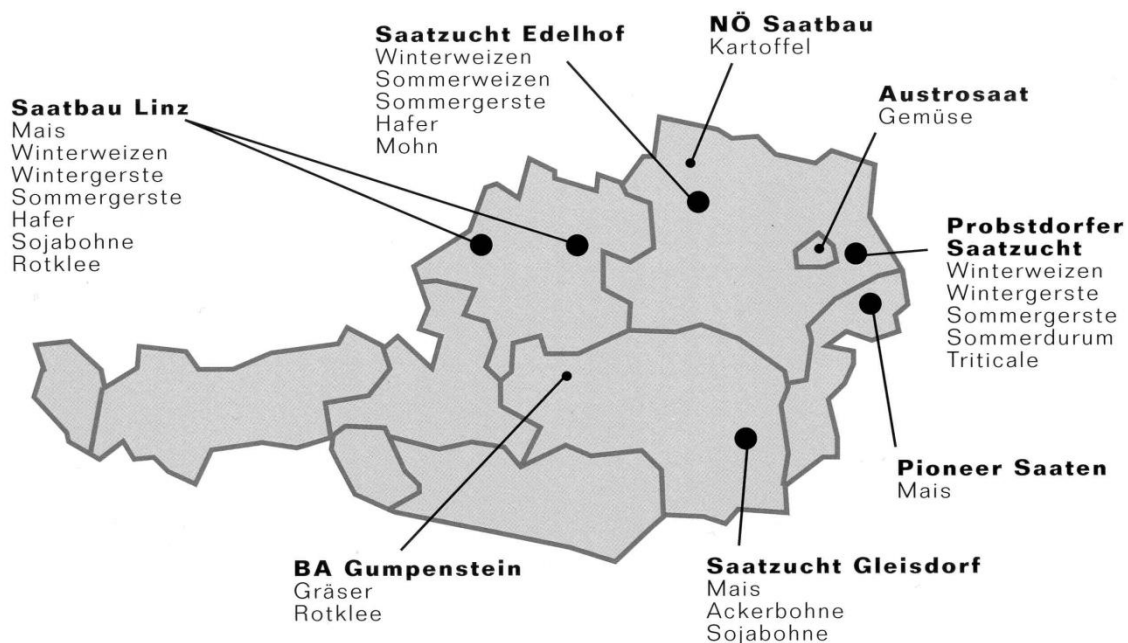


Abb. 22: Die größten österreichische Pflanzenzuchtbetriebe mit originärer Züchtungsarbeit bei den angeführten Kulturpflanzenarten. Eine gewisse originäre Züchtungsarbeit wird auch noch von diversen kleineren Betrieben durchgeführt.

5. Glossar – *Termini tecnici*

BASTARD, heterozygotes Individuum aus einer Kreuzung genetisch unterschiedlicher Eltern hervorgegangen, auch Hybride genannt.

DIALLELE KREUZUNG, Kreuzung einer Anzahl von Partnern in allen möglichen Kombinationen. Sind die reziproken Kreuzungen miteingeschlossen, ergeben sich $n(n-1)$ -Kombinationen, sonst nur $n(n-1)/2$. Testverfahren zur Ermittlung der spezifischen Kombinationseignung.

DOPPELKREUZUNG (*double cross, four-way cross*), Kreuzung zwischen zwei Bastarden, die von vier verschiedenen Eltern abstammen = $(A \times B) \times (C \times D)$.

DREIWEGEKREUZUNG (*three-way cross*), Kreuzung eines von zwei Eltern abstammenden Bastards mit einem dritten Elter = $(A \times B) \times C$.

EINFACHKREUZUNG (*single cross*), Kreuzung zwischen zwei Eltern = $A \times B$.

ELITEPFLANZE, selektierte Einzelpflanze, die phänotypisch dem Zuchtziel entspricht.

F mit Index (F_1, F_2 usw.), Filial- oder Bastardgeneration, die nach einer Kreuzung folgen.

FAMILIE, siehe Linien.

GENOTYP, Gesamtheit der im Kern (Chromosomen) lokalisierten Gene. Der G. bestimmt die Reaktionsnorm gegenüber den Umweltverhältnissen.

HETEROSIS, gesteigerte Leistung von Bastarden, die bei echter H. nicht nur über dem Durchschnitt der Eltern, sondern über dem leistungsstärkeren Elter liegt. Sie tritt am stärksten in der F_1 auf und läßt sich nicht fixieren.

I mit Index (I_1, I_2 usw.), Inzuchtgenerationen nach Selbstung von Fremdbefruchtern.

IDIOTYP, die durch die Gesamtheit aller Erbanlagen bedingte Erbkonstitution.

INTROGRESSION, die Überführung von Erbanlagen aus einer Art in eine andere durch wiederholte Rückkreuzungen über eine unvollständig ausgebildete interspezifische Isolationsbarriere.

INZÜCHTUNG, Selbstung von Individuen oder Kreuzung zwischen verwandten Individuen, die sich normalerweise durch Fremdbefruchtung fortpflanzen.

INZUCHTDEPRESSION, Abnahme der Wüchsigkeit und Leistung (Vitalität) nach Inzüchtung bei Fremdbefruchtern.

KLON, durch vegetative Vermehrung erhaltene Nachkommenschaft.

KOMBINATIONSEIGNUNG (*combining ability*), die K. ist ein relativer Maßstab für die Leistungsfähigkeit zweier Kreuzungspartner, die an den F_1 -Nachkommen gemessen wird. Die allgemeine K. (*general c.a.*) ist die durchschnittliche Leistung einer Linie (Stamm) in Kreuzungskombinationen; die spezifische K. (*specific c.a.*) ist die in bestimmten F_1 -Kombinationen auftretende Leistung der Nachkommen (vergleiche Topcross, Polycross und Diallele Kreuzungen).

KONVERGENZZÜCHTUNG, Züchtungsmethode mit Hilfe von Rückkreuzungen zwischen verwandten Stämmen, um erwünschte Gene aus dem einen Elter oder aus mehreren Eltern im Kreuzungsprodukt anzureichern.

LANDSORTEN, züchterisch nicht bearbeitete, genetisch mehr oder weniger heterogene Kulturpflanzenbestände.

- LINIEN**, Bezeichnung der Nachkommenschaften von Einzelpflanzen; wird für Selbst- wie für Fremdbefruchter empfohlen. Alle Linien bzw. Nachkommenschaften, die von einer Mutterpflanze (Elitepflanze) abstammen, werden als Familie bezeichnet.
- PANMIXIE**, zufallsgemäße Befruchtung innerhalb einer Population.
- PHÄNOTYP**, Erscheinungsform eines Individuums als Ergebnis aller erblichen und umweltbedingten Einwirkungen.
- POLYCROSS**, Testverfahren zur Ermittlung der allgemeinen Kombinationseignung von Klonen bzw. Inzuchtlinien. Eine Vielzahl von Klonen wird mit Wiederholungen so ausgepflanzt, dass es zur panmiktischen Befruchtung kommt. Die Nachkommenschaften werden geprüft und aufgrund der Ergebnisse die Klone mit der besten Kombinationseignung selektiert.
- POPULATION**, Gruppe von tatsächlich oder potentiell sich untereinander fortpflanzenden Organismen eines abgrenzbaren Areals, die idiotypisch verschiedenartig sind.
- REKURRENTE SELEKTION**, Züchtungsmethode bei Fremdbefruchtern, um Gene für bestimmte quantitative Merkmale in einer Population anzureichern bzw. zu konzentrieren, ohne die genetische Basis einzuengen. Bei der reziproken r. S. wird die Selektion in zwei Populationen durchgeführt, und die Endprodukte werden dann vereinigt. R. S. wird besonders in der Heterosiszüchtung angewendet.
- RESTSAATGUTMETHODE**, bei Fremdbefruchtern wird das Saatgut von Einzelpflanzen oder Stämmen geteilt und nur eine Hälfte für eine Prüfung ausgesät, die andere wird überlagert. Im folgenden Jahr wird nur das Restsaatgut der besten Einzelpflanzen oder Stämme nochmals geprüft oder vermehrt.
- REZIPROKE KREUZUNG**, Durchführung einer Kreuzung auch in der umgekehrten Richtung, d.h. außer $A \times B$ auch $B \times A$.
- RÜCKKREUZUNG**, Kreuzung eines Bastards mit einem seiner Eltern.
- TOPCROSS**, Testverfahren zur Ermittlung der allgemeinen Kombinationseignung von I-Linien oder Populationen (Sorten), indem man sie mit ein und derselben Sorte (Tester) kreuzt und ihre F_1 -Leistungen vergleicht.