



GRUNDLAGEN DER PFLANZENZÜCHTUNG

Umwandlung von
Pflanzenteilen zu
Speicherorganen durch
natürliche Mutation



Mutation:
eine nicht vorhersehbare
Veränderung des Erbguts, die
spontan und zufällig auftritt



Förderung von Mutationsformen durch
den Menschen mittels **gezielter
Auslese und Vermehrung** der Pflanzen
im Laufe der Jahrhunderte



Grünkohl
Blätter verdickt



Weißkohl
Sprossachse gestaucht
Blätter verdickt



Kohlrabi
Sprossachse
gestaucht
verdickt



Blumenkohl
Blütenstand
gestaucht
verdickt



Rosenkohl
Seitenäste
gestaucht

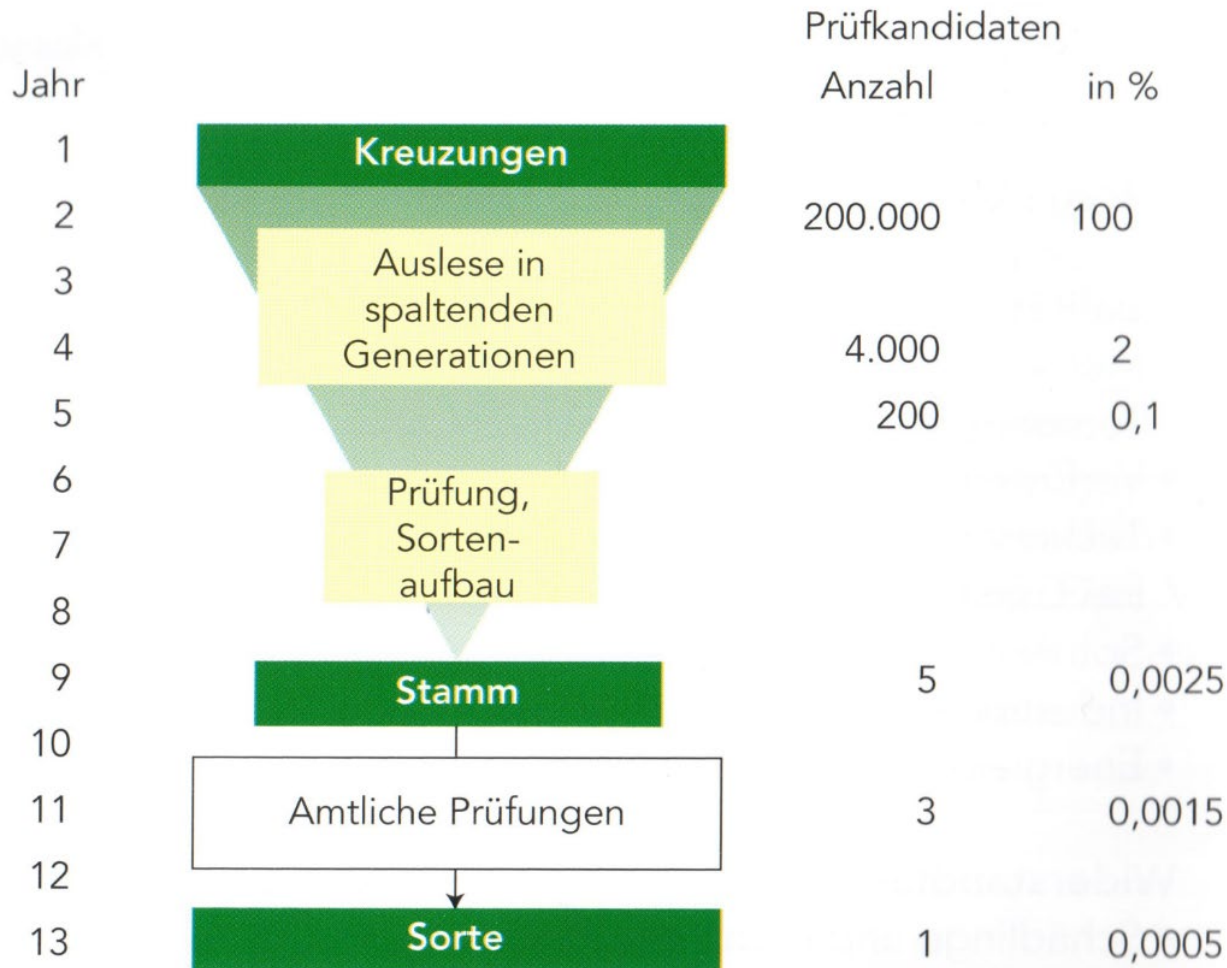




Was ist eigentlich Züchtung?

- » **Variation** schaffen und anschließend nach bestimmten Zuchtzielen selektieren
- » Variation schafft man in der Regel durch Kreuzungen, aber es gibt andere Möglichkeiten wie z. B. Mutationszüchtung
- » Die sich an eine Kreuzung anschließende **Selektion** findet hinsichtlich einer bestimmten Zielumwelt statt
- » Ob die **Zielumwelt** ökologisch oder konventionell ist, kann einen großen Unterschied machen

Schematischer Ablauf in Pflanzenzucht



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



Mendelsche Regeln

- » Uniformitätsregel: Bei Kreuzung homozygoter Linien, die sich nur in einem Merkmal unterscheiden, ist die F₁-Generation uniform
- » Spaltungsregel: Kreuzt man die Individuen der F₁-Generation untereinander, so treten in der F₂-Generation die Merkmale (Gene) der Elterngeneration in einem festen Zahlenverhältnis auf (3:1 bzw. 1:2:1)
- » Unabhängigkeitsregel: Einzelne Gene werden unabhängig voneinander vererbt und kombiniert

Vielfalt durch Mutationen („genetische Unfälle“)...

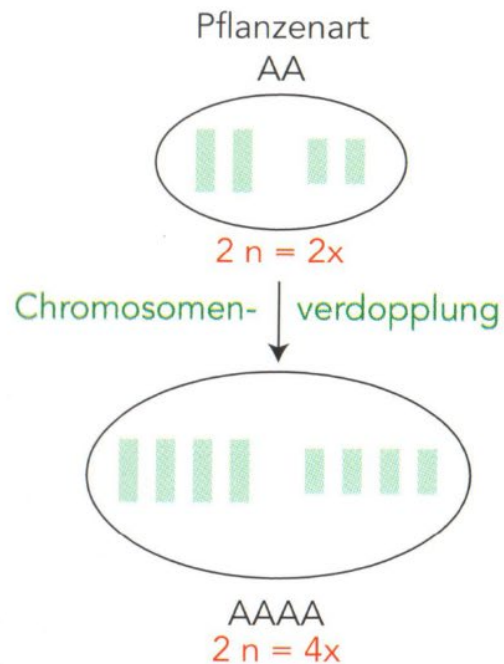


Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

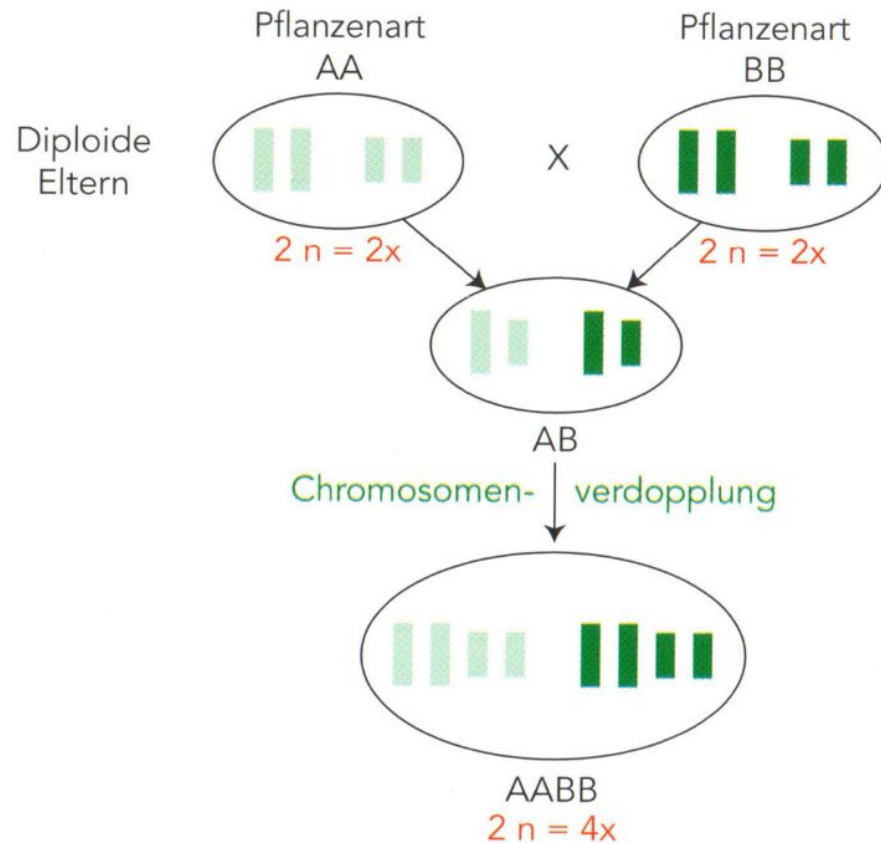
Formen der Mutation

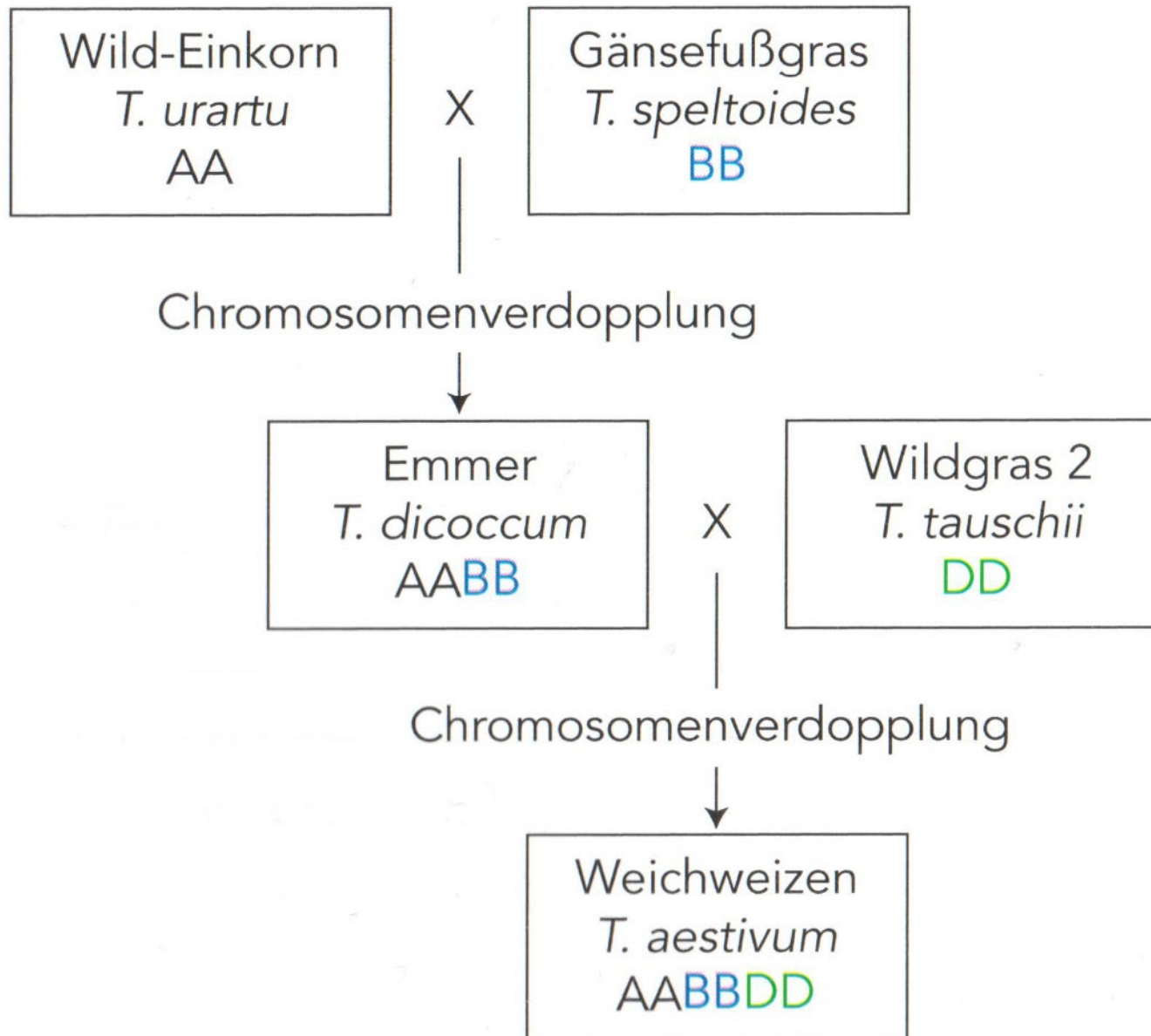
- » **Gen(=Punkt-)mutation:** Es wird nur ein Gen verändert
- » **Chomosenmutation:** Mutation, bei der ganze Chromosomen betroffen sind, also ganze Genblöcke verändert werden
- » **Genommutation:** Mutationen, die eine Veränderung der Chromosomenzahl bewirkt
 - » **Aneuploidie** (Abweichung von normaler Chromosomenzahl)
 - » **Haploidie** (nur einfacher Chromosomensatz vorhanden)
 - » **Polyploidie** (Vervielfachung vollständiger Chromosomensätze)

Autopolyploidie



Allopolyploidie





Änderung der Ploidiestufe



Einkorn

diploid
 $2n = 14 - AA$

Emmer

tetraploid
 $2n = 28 - AABB$

Weichweizen

hexaploid ($2n = 42$)
 $AABBDD$

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



Kreuzung

- » Zur Rekombination der Erbanlagen werden erbverschiedene Pflanzen (Stämme, Sorten...) mit einander gekreuzt
- » Bei gemeinsam abblühenden Fremdbefruchtern geschieht dies „automatisch“
- » Kreuzungen sollen zu besseren Kombinationen von Elternmerkmalen führen
- » Völlig neue Kombinationen von Eigenschaften können so entstehen

Kreuzung beim Selbstbefruchter Weizen



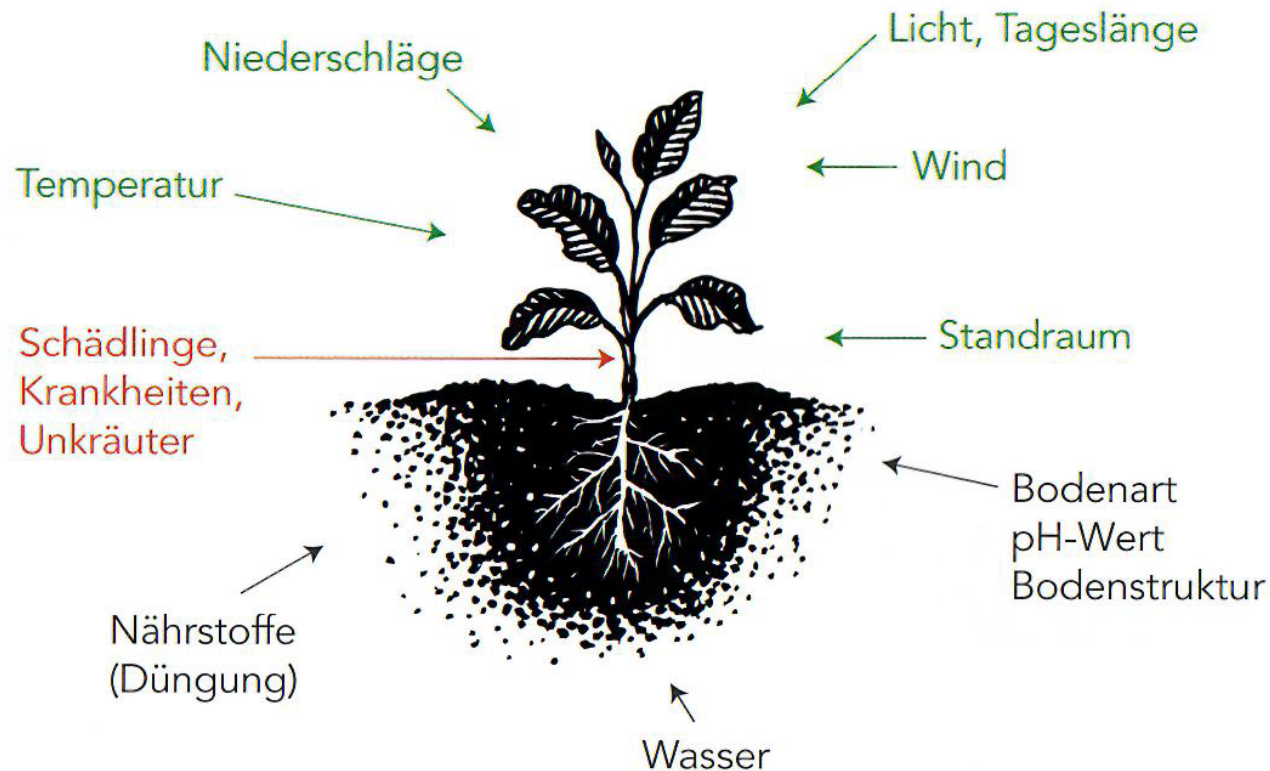
Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



Selektion

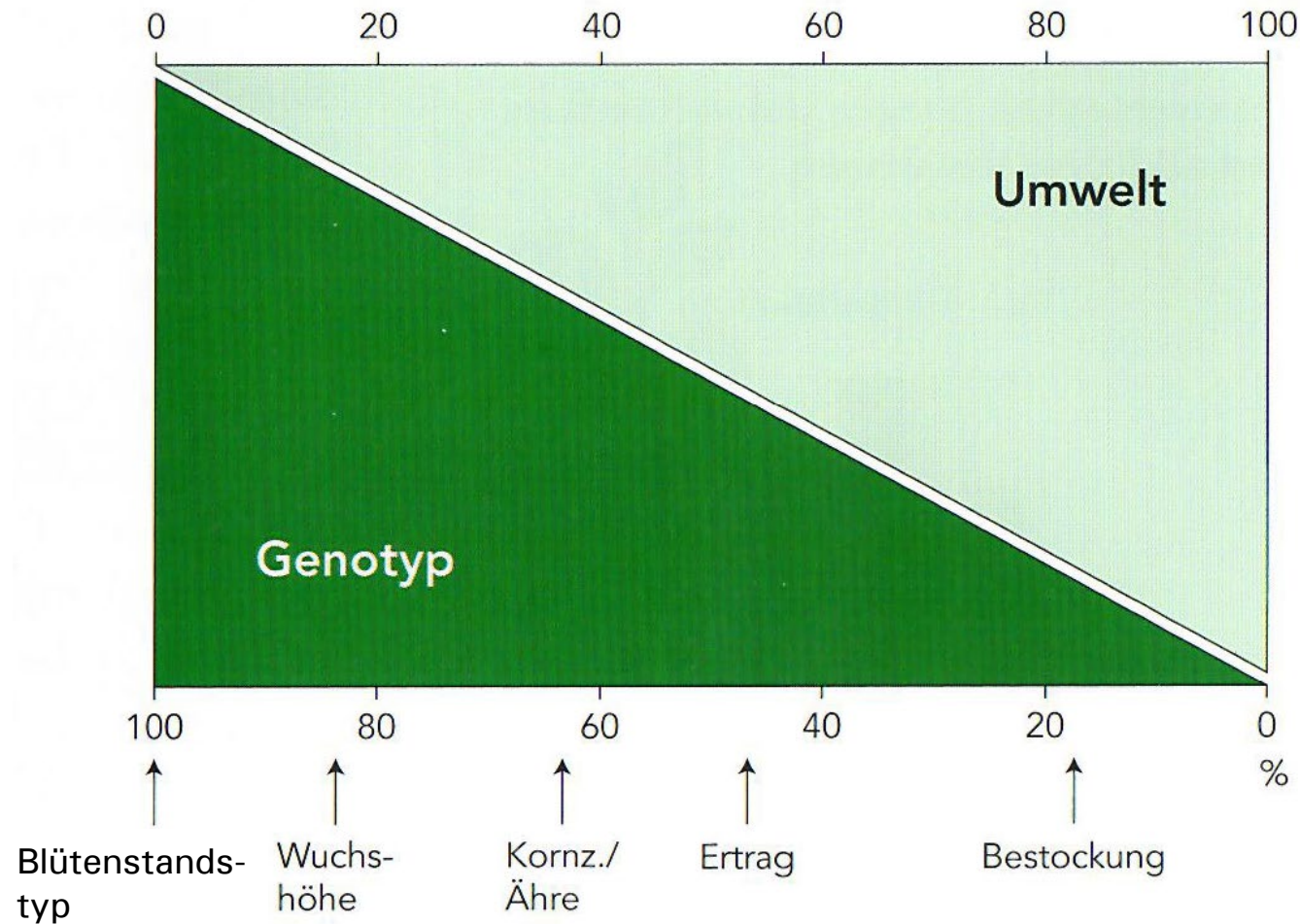
- » Gezielte Auswahl gewünschter Merkmalskombinationen
- » In den ersten Jahren vor allem auf Vitalität, Wuchshöhe, Winterfestigkeit und Reifezeit
- » Später: Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten, Standfestigkeit...
- » Ab etwa dem sechsten Jahr zunehmend auch Kornertrag und Qualität (Mehrortigkeit wichtig)
- » Am Ende stehen wenige Stämme als Endkandidaten (ca. 0,0005% der ursprünglichen Prüfkandidaten)

Die pflanzliche Umwelt



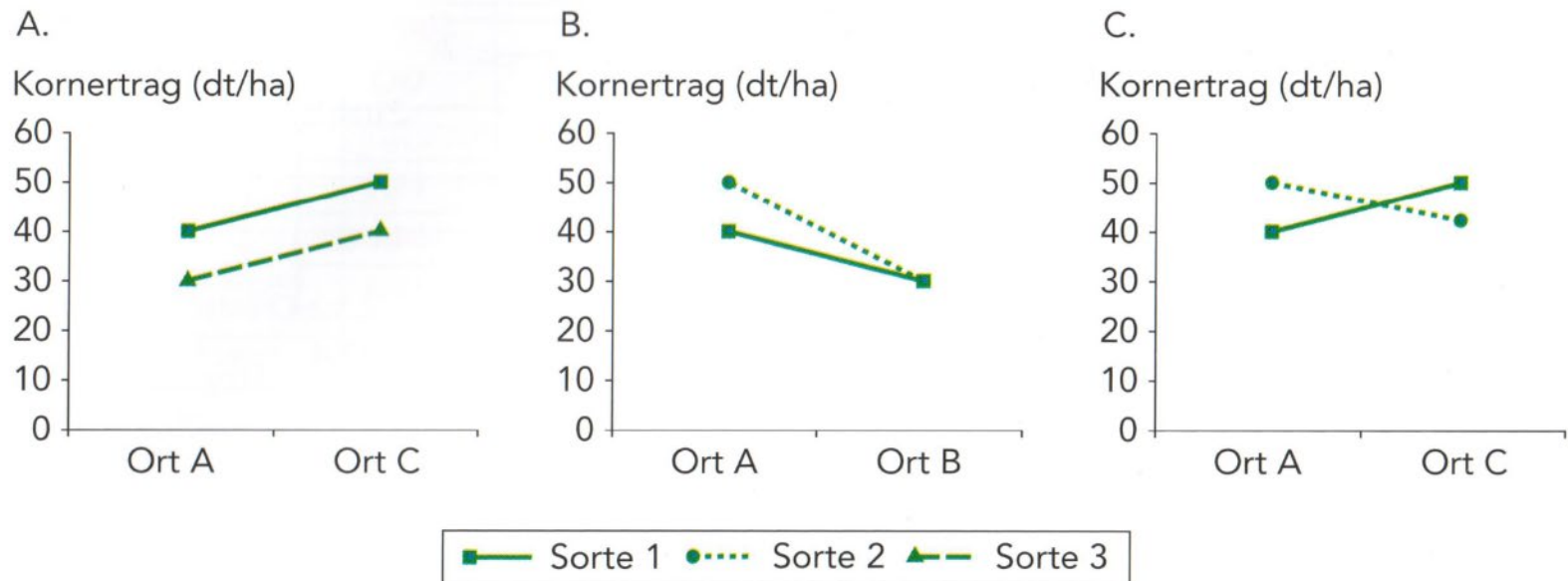
Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Genotyp- vs. Umwelteinfluß



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Genotyp-Umwelt-Interaktionen



Keine G x O
Rangfolge gleich
Differenz gleich

G x O vorhanden
Rangfolge gleich
Differenz ungleich

G x O vorhanden
Rangfolge ungleich
Differenz ungleich

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



Erblichkeit oder Heritabilität

» $P = G + U$

» $P = MW + G + U + GU + e$

» $V_P = [\mu] + V_G + V_U + V_{GU} + V_e$

» $h^2 = V_G / V_P$

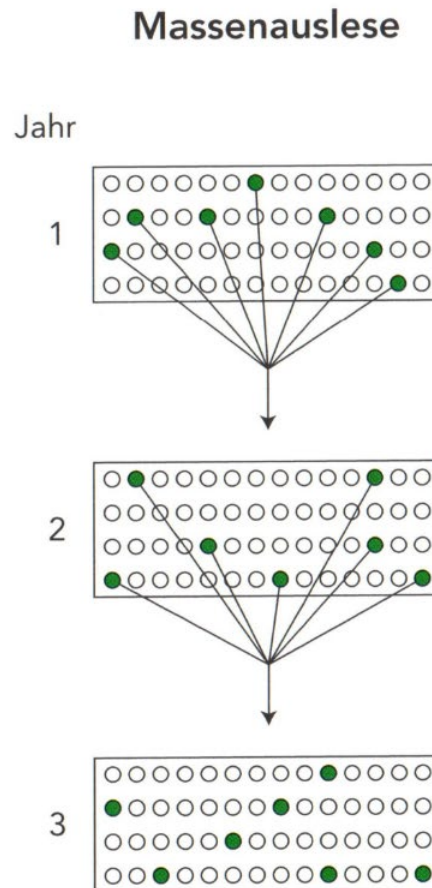
» Heritabilität ist ein Maß für die Erblichkeit; sie gibt den genetischen Anteil der phänotypischen Varianz eines Merkmals an



Voraussetzung für züchterische Verbesserungen

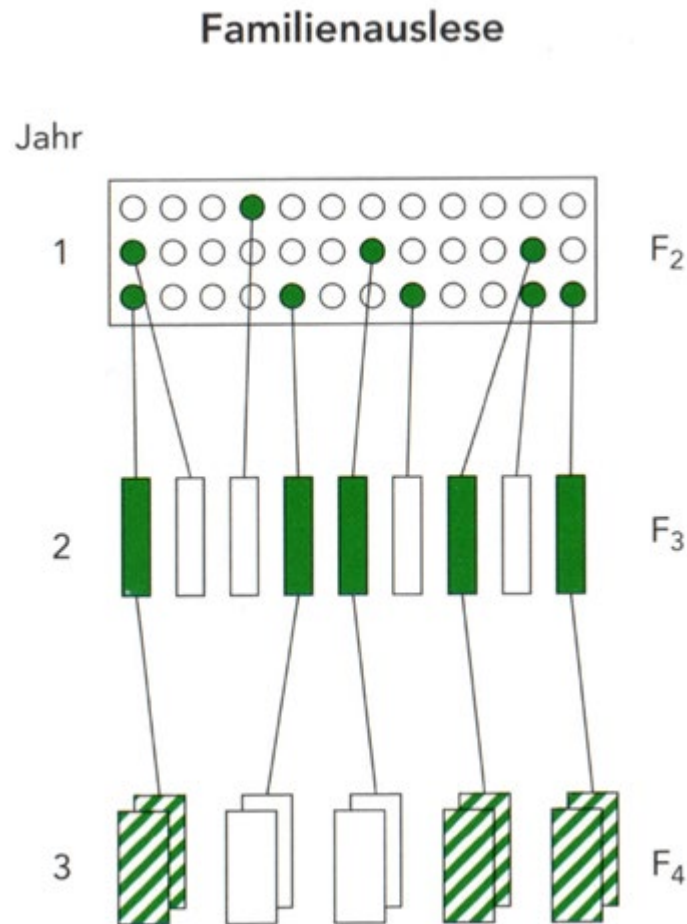
- » **Genetische Variation hinsichtlich des Merkmals**
- » **Hinreichende Erblichkeit des betreffenden Merkmals**

Selektion - Massenauslese



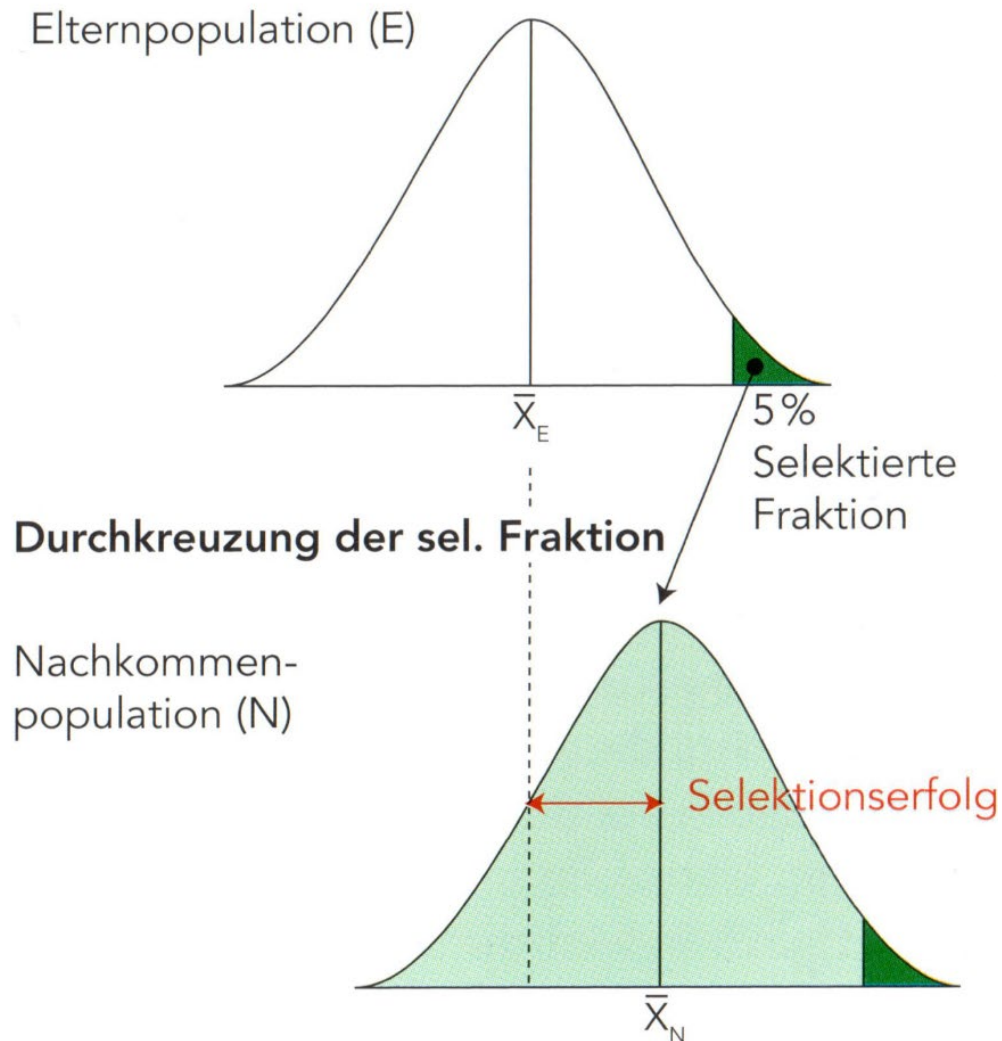
- Einfachste Form der Auslese
- Besonders bei **Selbstbefruchtern**
- Für Merkmale mit monogenischer Vererbung
- Für leicht an Einzelpflanzen erkennbare Merkmale
- Für Merkmale mit sehr hoher Erblichkeit

Familienauslese



- Für komplexe Merkmale, die durch zahlreiche Gene vererbt werden
- Für Merkmale mit **weniger starker Heritabilität**
- Trennung von genetischen und Umwelt-Genotyp-Interaktionen und Versuchsfehler
- Dauert mindestens **3 Jahre**

Höhe des Selektionserfolg



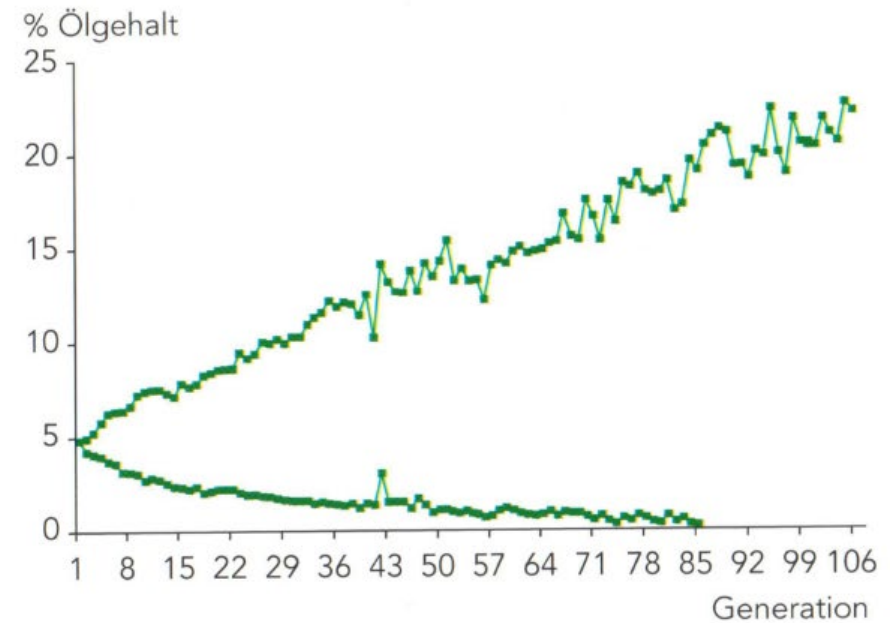
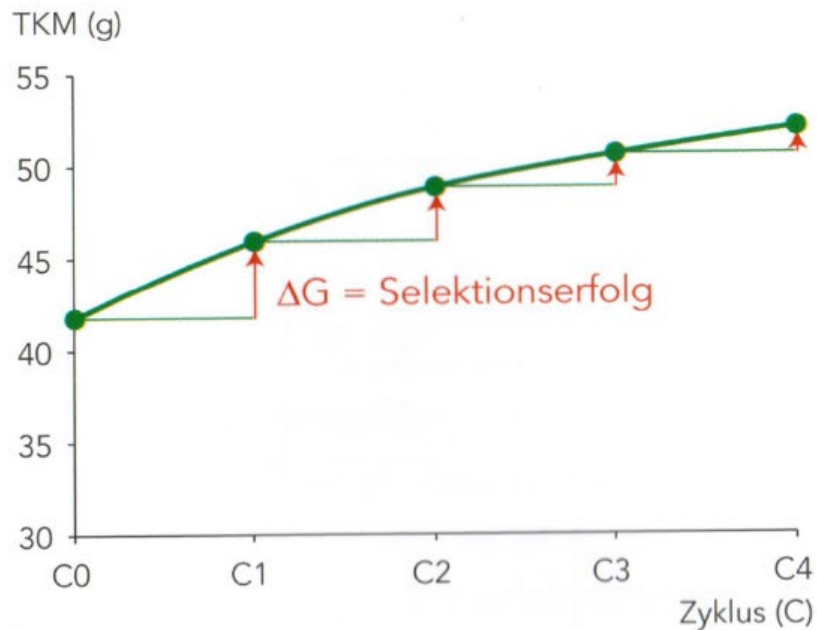
- Ist abhängig von drei Faktoren:
 - Selektionsintensität
 - **Erblichkeit** ($\sqrt{h^2}$)
 - Größe der genetischen Variation



Maximaler Selektionserfolg ergibt sich,...

- » Wenn das gewünschte Merkmal mit breiter Varianz in der Elternpopulation auftritt
- » Nicht oder nur wenig von der Umwelt abhängig ist
- » Sehr genau an wenigen Einzelpflanzen erfasst werden kann
- » Umgekehrt kann man am Erfolg fortgesetzter Selektion die Komplexität der Vererbung des selektierten Merkmals abschätzen

Beispiel: Selektionserfolg



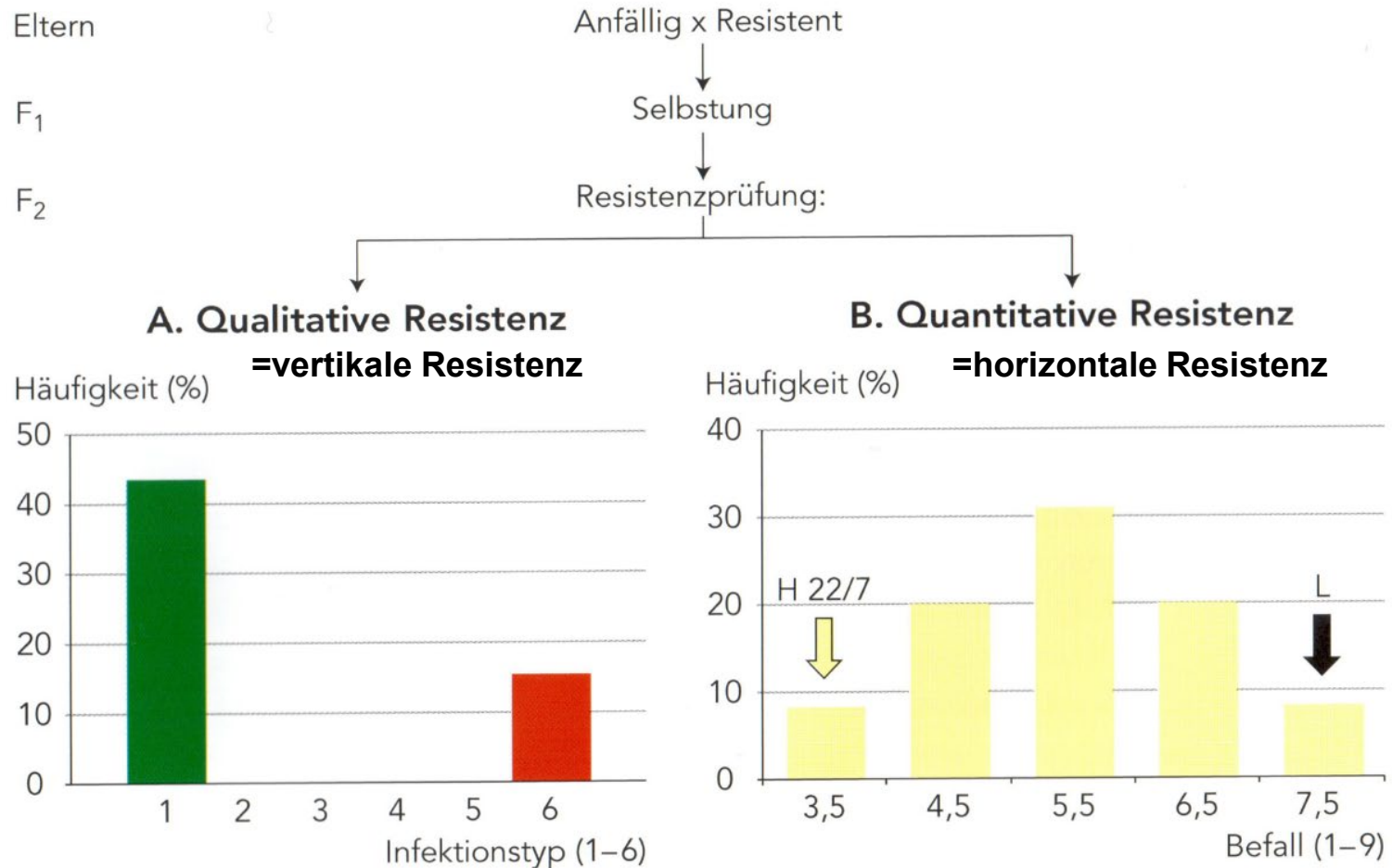
Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



Weshalb Resistenzzüchtung

- » Verringerung des Einsatzes von PSM
- » Relevant bei anderweitig nicht bekämpfbaren Krankheiten
- » Im Öko-Landbau Schutz von Ernte- und Qualitätsverlusten (siehe vorgenannter Punkt)
- » Verminderung des Risikos für Resistenzbildung gegenüber PSM bei Schaderregern
- » Einsparungen bei Betriebsmitteln, Überfahrten, Arbeit etc.

Schema Resistenzzüchtung



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Unterschied qualitative und quantitative Resistenz

Die wichtigsten Unterschiede zwischen qualitativer und quantitativer Resistenz

Eigenschaft	Qualitative Resistenz	Quantitative Resistenz
Ausprägung	Ja / nein	Gering bis hoch anfällig
Rassenspezifisch	Ja	Nein
Vererbung	Mono-/digenisch	Oligo-/polygenisch
Keimlingstest	Ja ^a	Nein
Erwachsene Pflanze	Ja / nein ^a	Ja
Dauerhaftigkeit	Meist gering	Hoch

^a Abhängig vom jeweiligen Gen

Einkreuzung Resistenzquelle durch Rückkreuzung

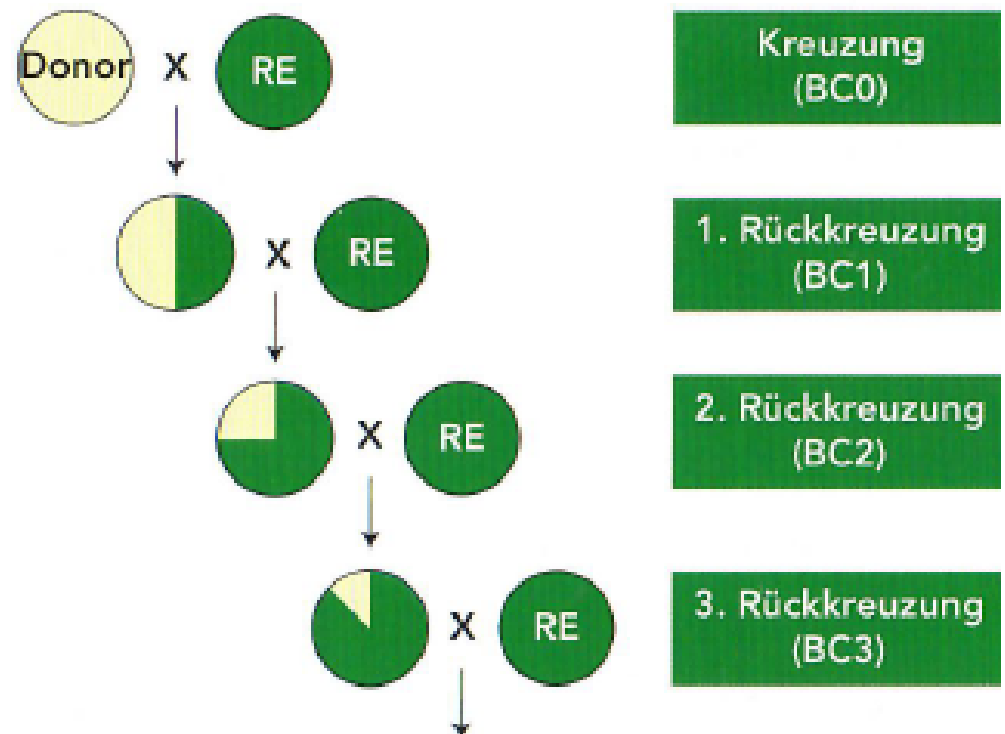


Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Rückkreuzungsschema

Abbildung I.3-18

Schema der wiederholten
Rückkreuzung (BC = *backcross*,
RE = Rekurrenter Elter)



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Fortpflanzung und Sortentyp



sexuelle Vermehrung

über die Bildung von Pollen ♂ und Eizelle ♀

Fremdbestäubung

Selbstbestäubung



Gerste, Weizen, Raps

Windbestäubung



Mais, Roggen, Raps

Insektenbestäubung



Raps, Sonnenblume

vegetative Vermehrung

über Pflanzenorgane: Knollen, Ausläufer



Kartoffeln, Erdbeeren

Sortentypen



Klonsorte: Kartoffeln



Liniensorte: Weizen



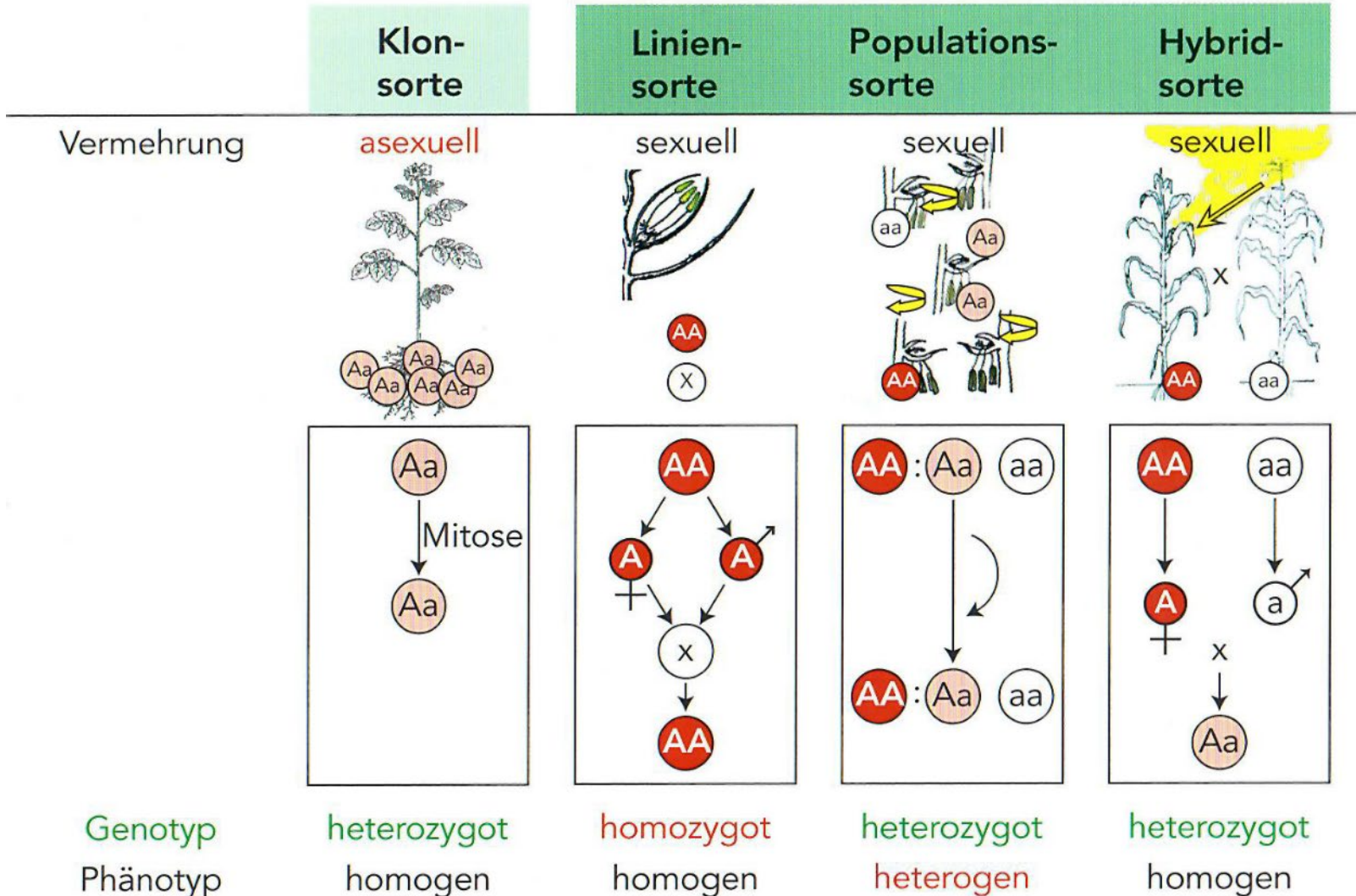
Populationssorte: Roggen



Hybridsorte: Mais

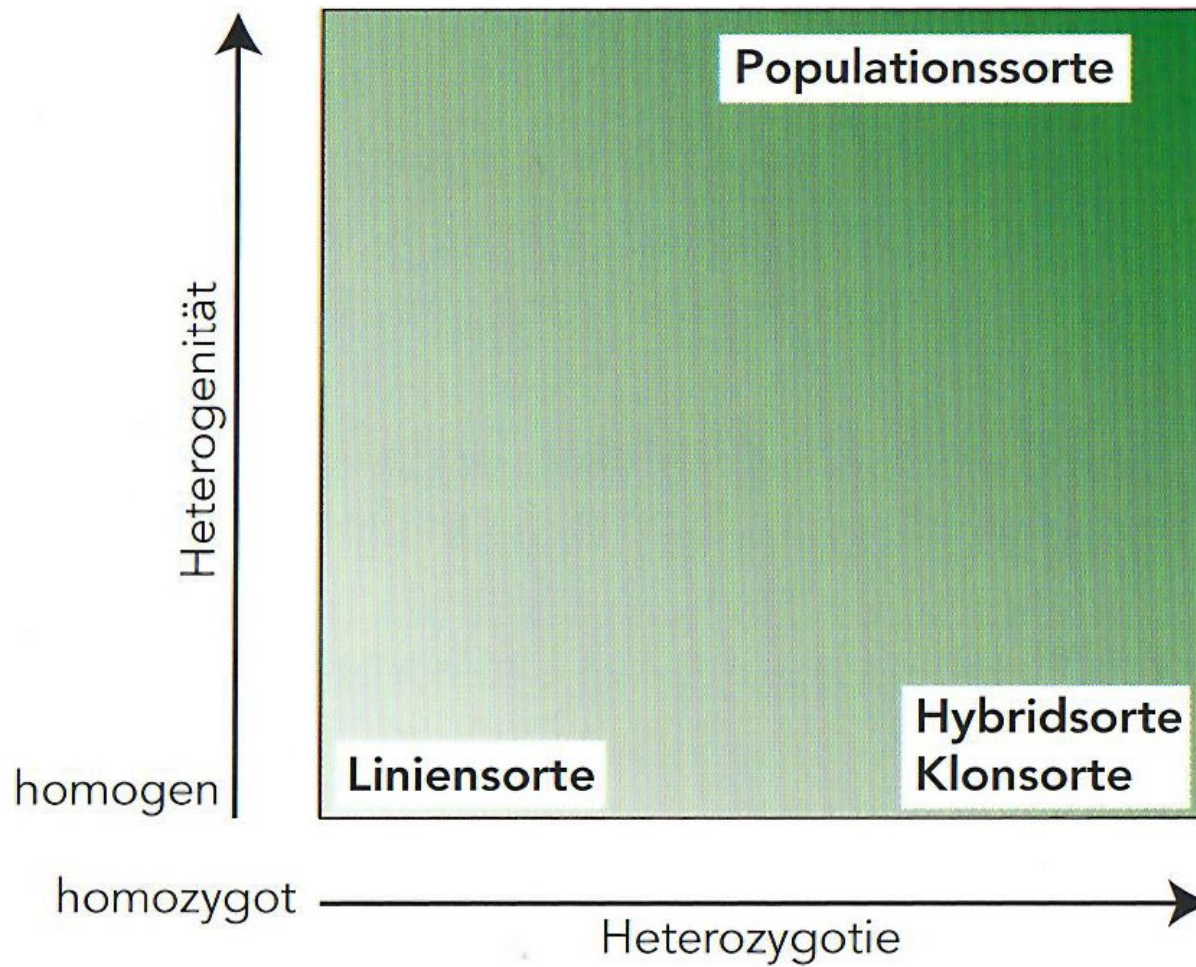
Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Sortentypen & Vermehrung



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Einteilung Sortentypen



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

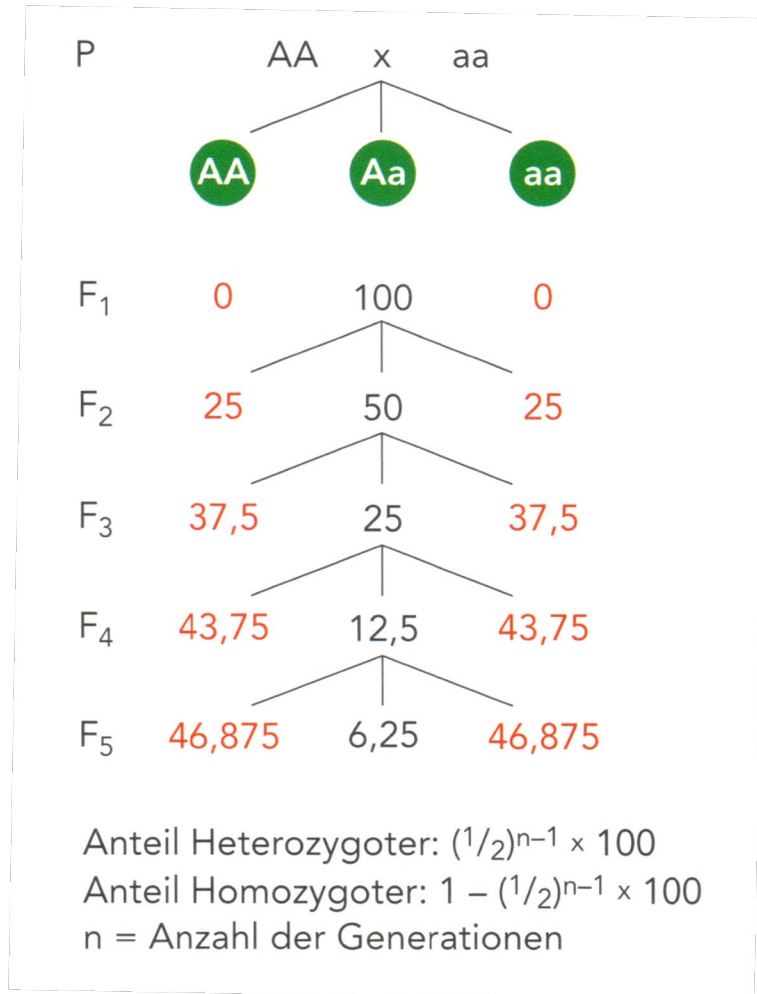
Sortentyp und Nachbau

Fortpflanzung	Genetische Struktur Heterozygotie der Pflanze	Struktur Variation inner- halb der Sorte	Nachbau	Heterosis
Asexuell	heterozygot	homogen	Ja	Ja
sexuell Selbstbest.	homozygot	homogen	Ja	Nein
sexuell Fremdbest.	heterozygot	heterogen	Ja	Ja
sexuell Fremdbest.	heterozygot	homogen	Nein	Ja



SELBSTBEBRUCHTER – LINIENSORTEN

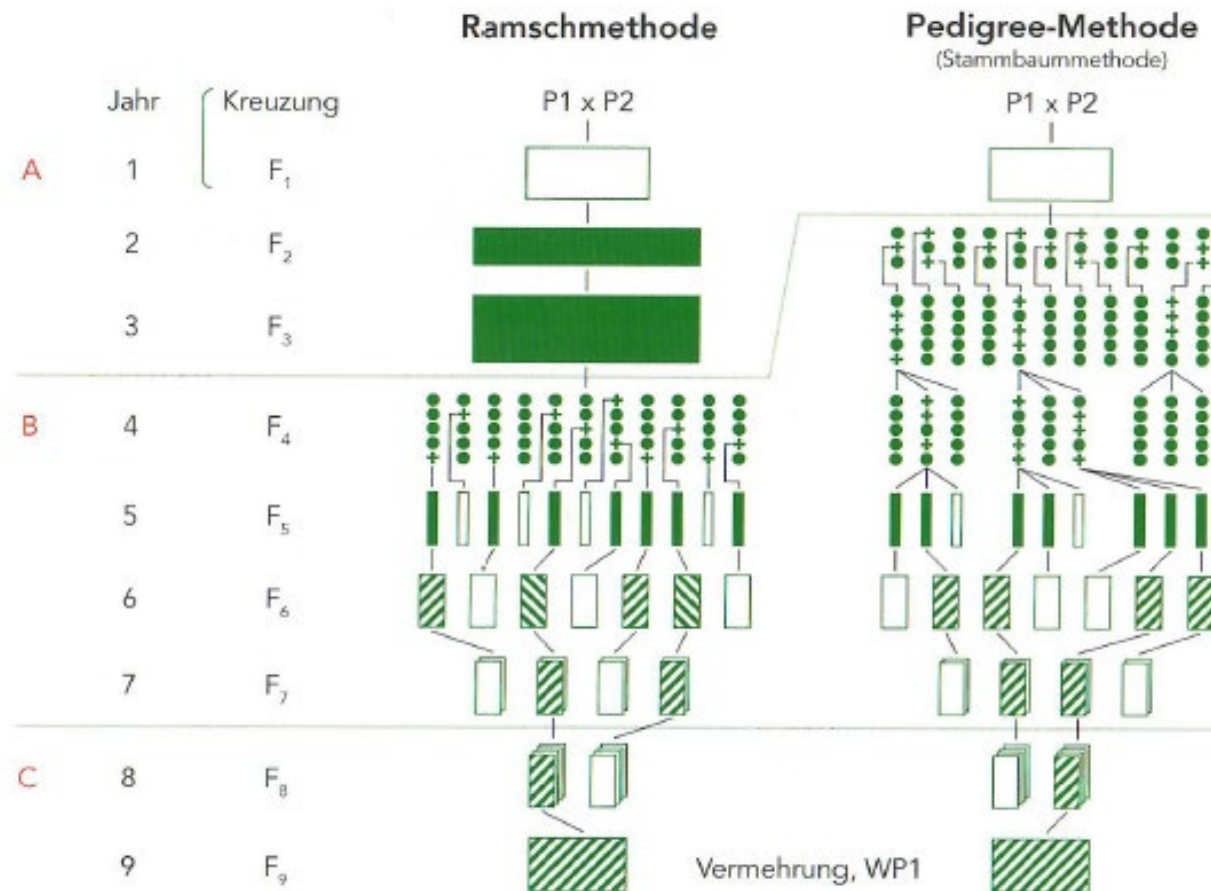
Allelaufspaltung bei fortgesetzter Selbstbefruchtung



- Aufspaltung von Allelen eines Locus nach Kreuzung zweier homozygoter Eltern (AA, aa)
- **Angabe der Häufigkeit der drei möglichen Genotypen in %**
- Rot: Anteil homozygote Genotypen

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Schema Ramsch- und Stammbaummethode



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Leistungsprüfung von Zuchtstämmen



Einzelepflanzen



Kleinparzelle (1,0 m²)



Doppelreihen (0,4 m²)



Leistungsprüfung (10 m²)

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Mehrstufig gewichtete Selektion

Jahr		Anzahl Prüfglieder (Genotypen):	Anbau:	Merkmale:
1	P			Auswahl der Eltern
2	F ₁	200.000	1 Pflanze	
3	F ₂	16.000	1 Pflanze	Wuchshöhe, Winterfestigkeit, Reifezeit
4	F ₃	3.200 x 5 = 16.000	1 Reihe	Wuchshöhe, GR, BR, MT, Kornbonitur
5	F ₄	8.400	3 Reihen	GR, BR, MT, Auswuchs, Sedi-Wert, Kornbonitur
6	F ₅	5.200	1 Reihe	GR, BR, MT, FUS, Auswuchs, Sedi-Wert, Kornbonitur, Proteingehalt, TKM
7	F ₆	500	1 Parzelle, 1 Ort	FUS, Sedi-Wert, Kornbonitur, Proteingehalt, TKM, Ertrag, Backqualität
8	F ₇	50–100	2 Parzellen, 3 Orte	FUS, Sedi-Wert, Proteingehalt, TKM, Ertrag, Backqualität
9	F ₈	20	2 Parzellen, 8–15 Orte	Ertrag, Backqualität, TKM
10	F ₉	2–4	Anmeldung u. Vermehrung	

Prüfaufwand je Genotyp

Abkürzungen:
 GR = Gelbrost-Resistenz
 BR = Braunrost-Resistenz
 MT = Mehltau-Resistenz
 FUS = Resistenz gegen Ährenfusarium
 TKM = Tausendkornmasse

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Mehrstufig, gewichtete Selektion

Merkmal	Prüfung	h^2	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8
Wuchshöhe	EP	0,8–0,9							
Mehltau, Roste	EP								
Kornqualität	EP	0,8							
TKG	MP	0,7							
Sedimentationswert	EP/MP	0,5–0,6							
Rohprotein	MP	0,5							
Ährenfusarium	MP	0,5–0,6							
Backqualität	LP	0,4–0,6							
Ertrag	LP								

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Linien-sorten in drei Schritten



A. Erstellung der Ausgangsvariation

- > Zuchtziele?
- > Kreuzungen:
 - a) welche Eltern?
 - b) welches Kreuzungsschema?

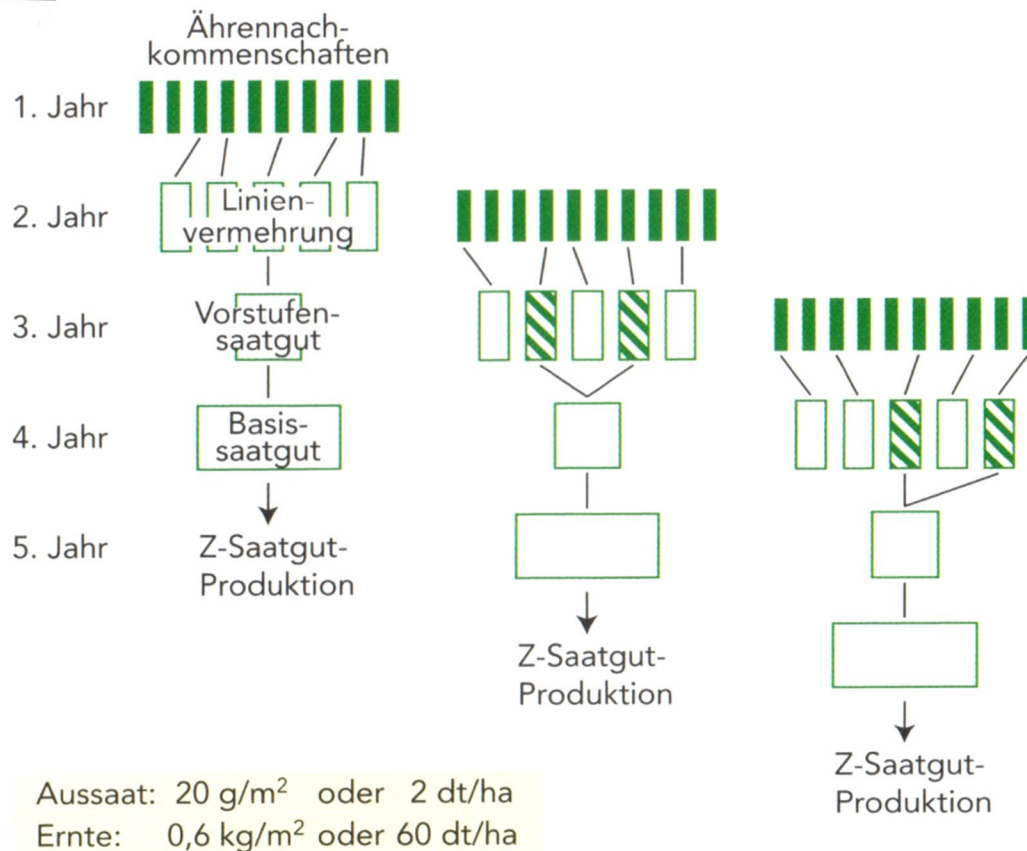
B. Selektion in spaltenden Generationen

- > Selektionsverfahren (Ramsch, Pedigree) ?
- > Mehrstufige, gewichtete Selektion
- > Art der Ertragsprüfung (früh/spät, Anzahl Orte)?

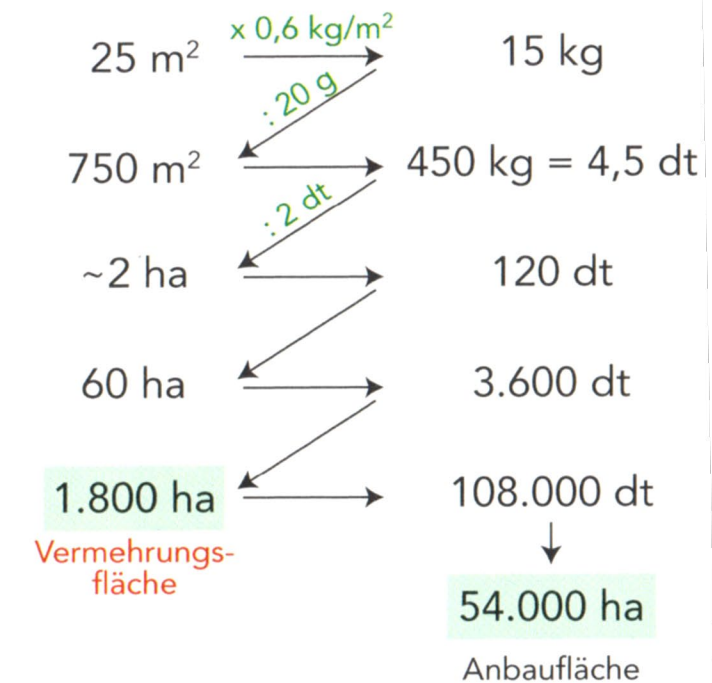
C. Sortenaufbau

- > Ziel: Reine Linie (Homogenität)
- > Erhaltungszüchtung

Schema Erhaltungszüchtung Weizen



Rechenbeispiel:

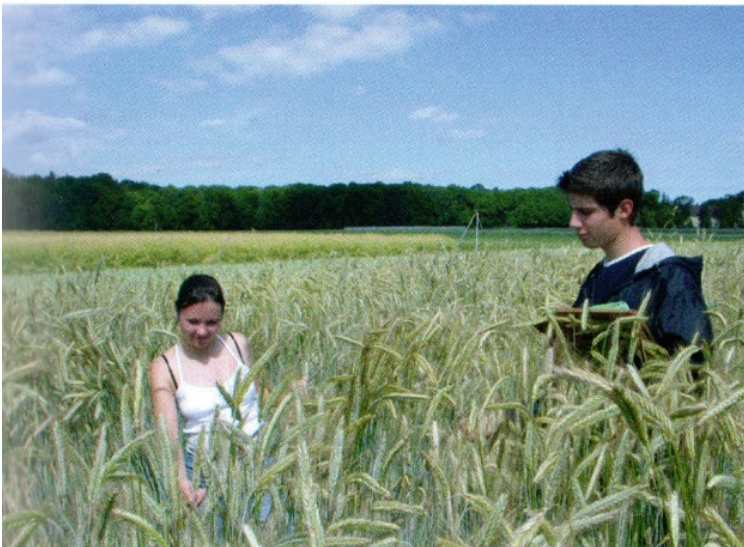


Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



FREMDBEBRUCHTER – POPULATIONSSORTEN

Praktische Zuchtarbeit



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



Verhalten fremdbefruchtende Populationen am Beispiel Roggen

- » Bei jeder Befruchtung werden die Allele einer Population immer wieder neu durchmischt
- » Die frei in die Umgebung abgegebenen Pollen bestäuben zufallsmäßig die mütterlichen Narben (Panmixie)
- » Roggen kommt natürlicherweise als heterogene Population vor
- » Alle Pflanzen sind weitgehend heterozygot

Hardy-Weinberg-Gleichgewicht

$A = a$

	A 0,5	a 0,5
A 0,5	AA (p^2) 0,25	Aa (pq) 0,25
a 0,5	Aa (pq) 0,25	aa (q^2) 0,25

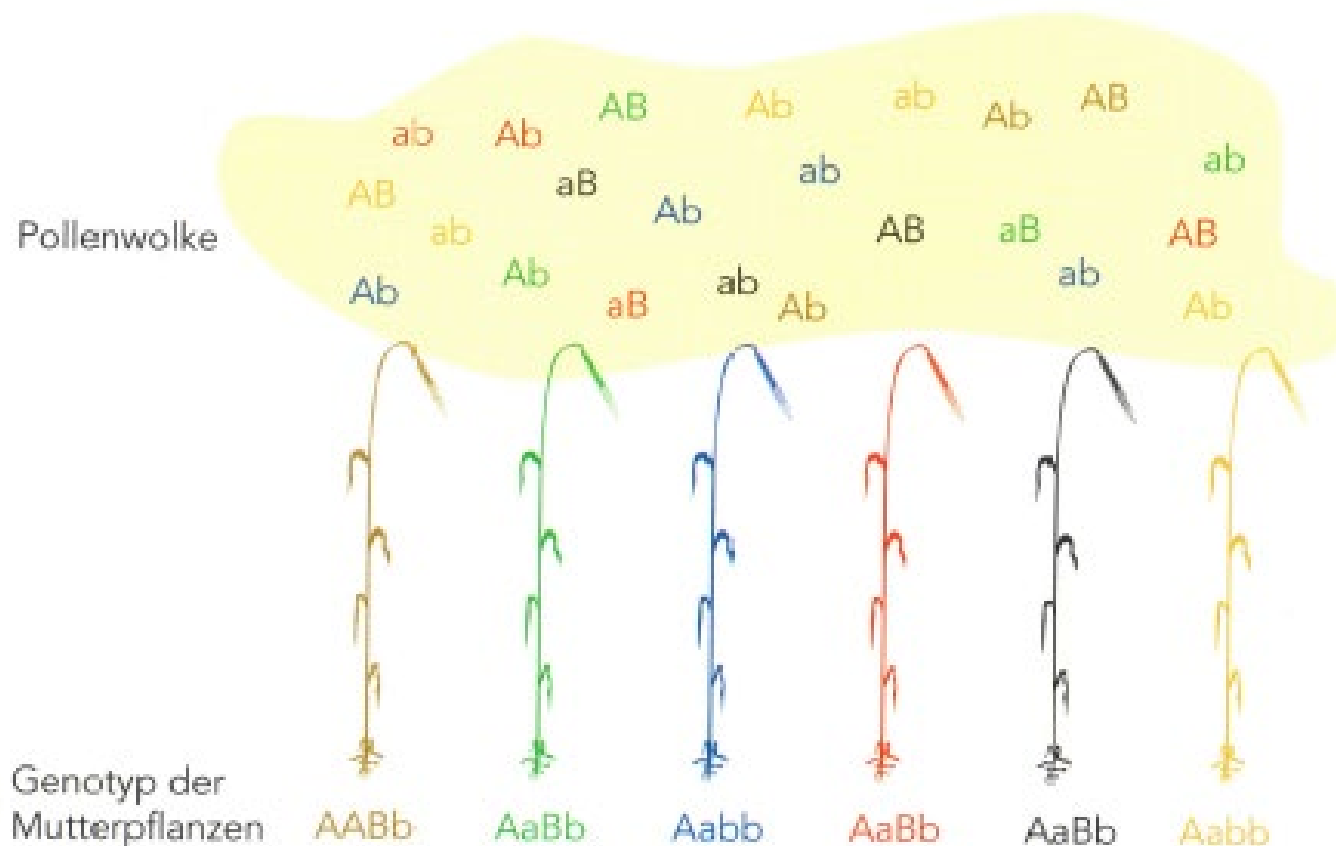
$A > a$

	A 0,75	a 0,25
A 0,75	AA (p^2) 0,5625	Aa (pq) 0,1875
a 0,25	Aa (pq) 0,1875	aa (q^2) 0,0625

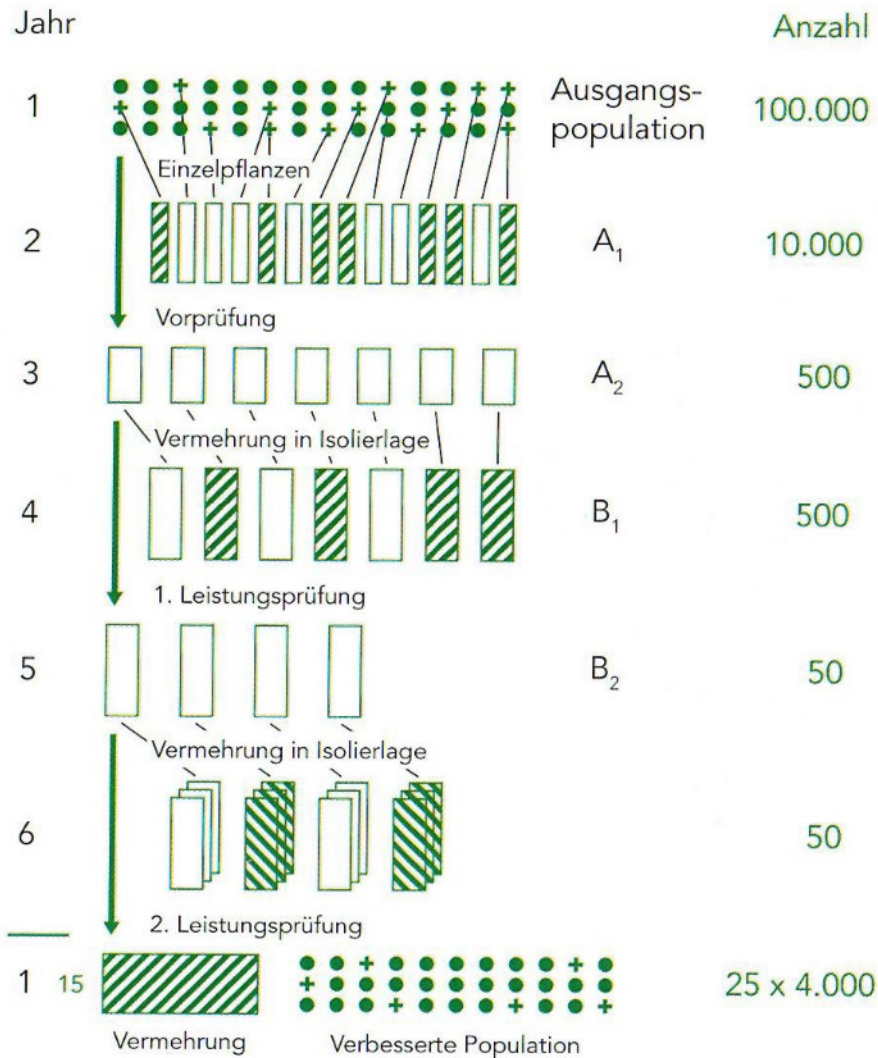
$\underbrace{\hspace{10em}}_p \quad \underbrace{\hspace{5em}}_q$

für $p(A)$ bzw. $q(a)$ gilt gemäß HWG: $P^2 + 2pq + q^2 = 1$

Zusammensetzung der Pollenwolke im Zwei-Locus-Fall



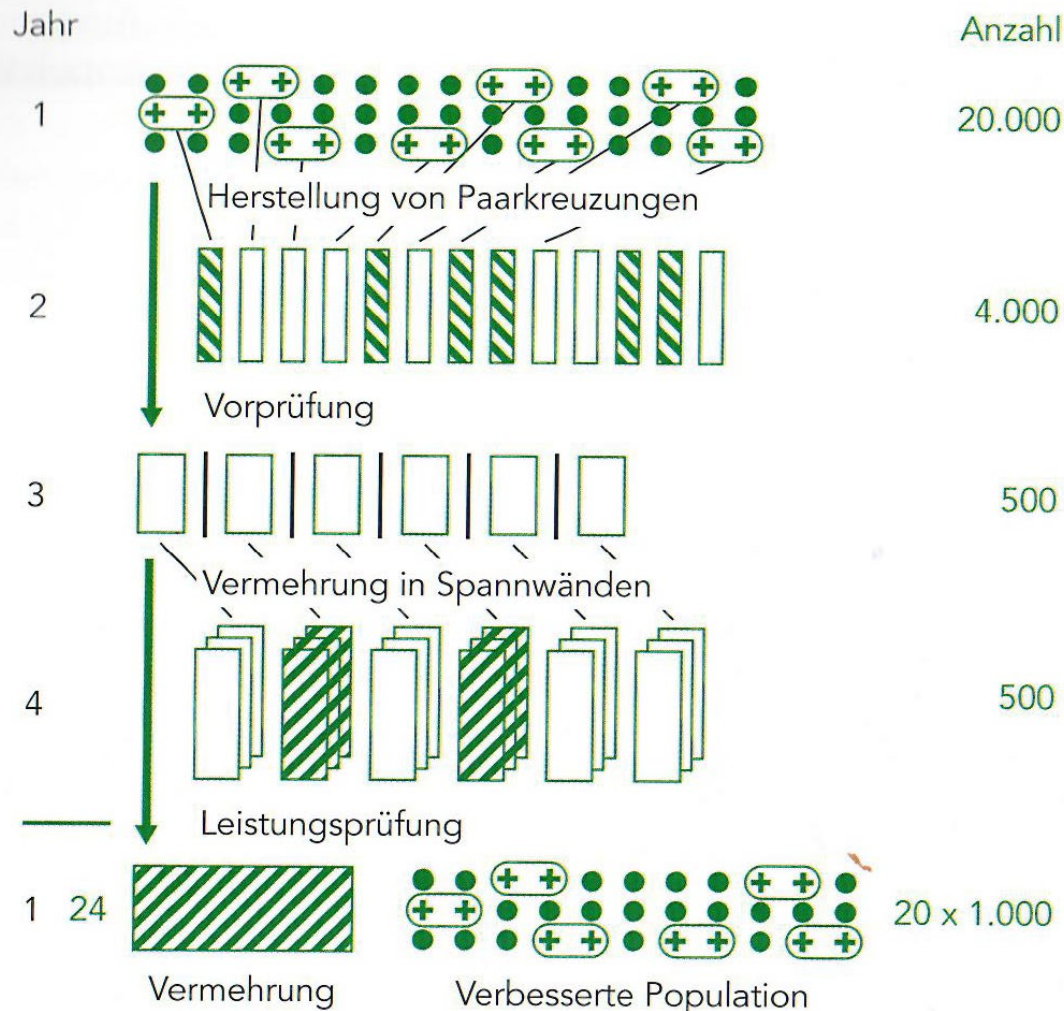
Züchtungsschema für offen abblühender Populationssorten



- Wegen der besonderen Bestäubungsbiologie wird die Restsaatgutmethode in Halbgeschwisterfamilien (HGF) angewendet
- Während die A_1 -Stämme nicht weiter-geführt werden, werden die A_2 -Stämme in Isolierlage einer kontrollierte Bestäubung unterzogen

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Züchtungsschema für offen abblühender Populationssorten



- Um die Zuchteffizienz zu erhöhen, wird heute oft die **Vollgeschwisterfamilien-Methode** eingesetzt
- Da Roggen selbstinkompatibel ist, können zwei Pflanzen mit **unter einer pollendichten Tüte** abblühende Ähren miteinander gekreuzt werden

Isolationsmaßnahmen

Herstellung von Vollgeschwisterfamilien unter Isoliertüten und ihre Vermehrung unter Isolierhauben oder zwischen Spannwänden (von links nach rechts)



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung



FREMDBEBRUCHTER – HYBRIDSORTEN



Warum Hybridzüchtung?

- » Nutzung der Heterosis in der Nachkommenschaft
- » Trennung zwischen Genotyp und Umwelt leicht möglich, weil Variation innerhalb der Inzuchtlinien (IL) umweltbedingt sein muss
- » Einfache Selektion, weil Unterschiede zwischen IL gut sichtbar sind
- » Negative rezessive Allele werden durch Inzucht abgebaut
- » Günstige Allele werden in Linien fixiert
- » ...



Hybridzüchtung in drei Schritten

- » Entwicklung homozygoter Inzuchtlinien (IL) durch fortgesetzte Selbstung und Selektion auf Linienleistung
- » Kreuzung der besten IL und Selektion überlegener Kreuzungskombinationen
- » Erstellung der Hybridsorte mit den besten Linien

Heterosis und deren genetischer Hintergrund

- » Heterosis ist die **Mehrleistung** der Nachkommen gegenüber dem Elternmittel
- » Die Basis der Heterosis ist die **Heterozygotie**
- » Je mehr Loci in einer Kreuzungsnachkommenschaft heterozygot sind, desto höher die Heterosis. Daraus folgt: Maximale Heterosis ist gegeben, wenn
 - » die beiden Eltern möglichst wenig verwandt sind,
 - » die Eltern möglichst stark ingezüchtet sind und
 - » eine F1-Nachkommenschaft vorliegt.

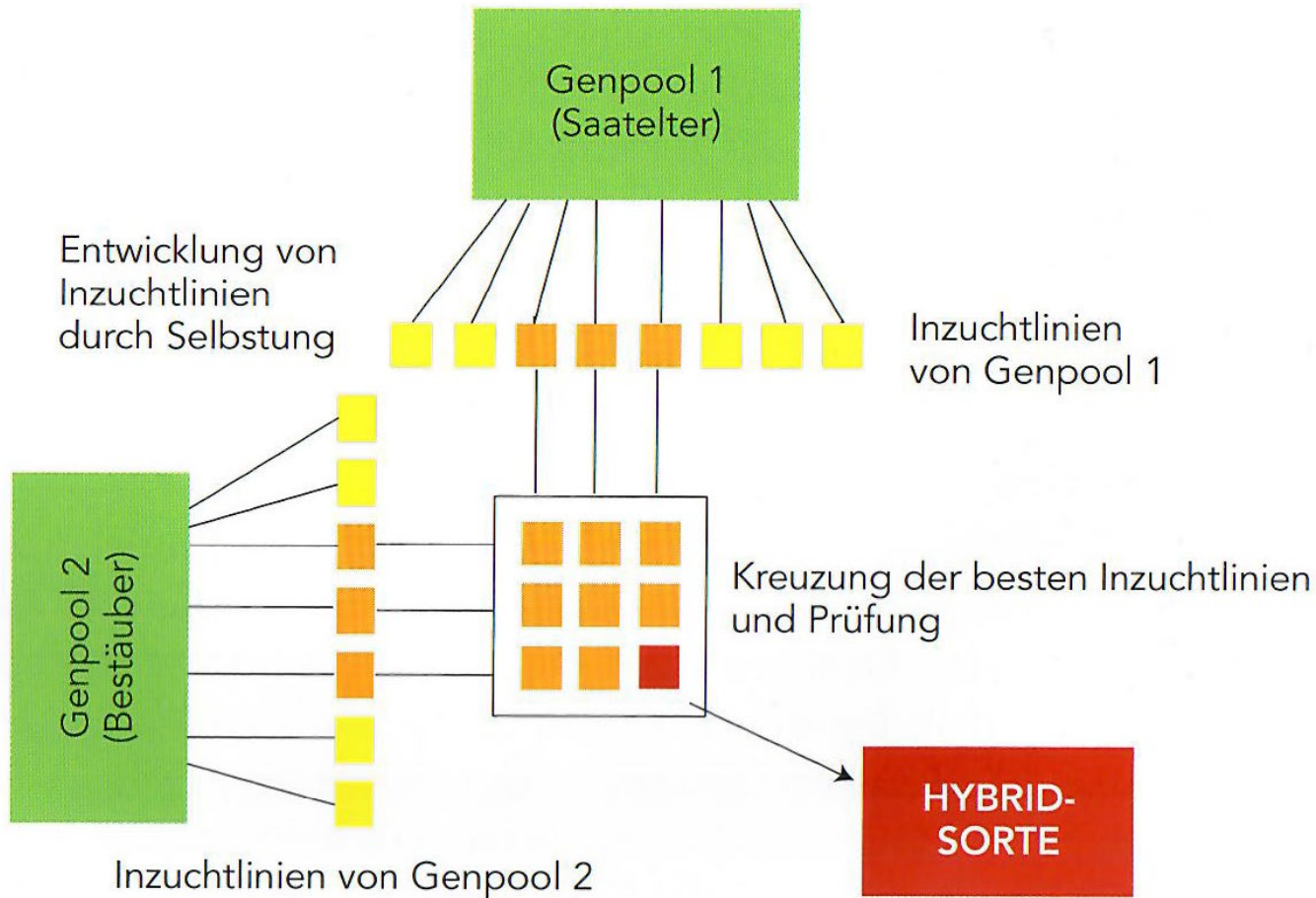
Inzuchtdepression & Heterosis am Beispiel

P	A b C d E F	x	a B c
	D e F		
F ₁	A b C d E F	x	a B c
	A b C d E F		a B c
	D e F		
	a B c D e F		A b C

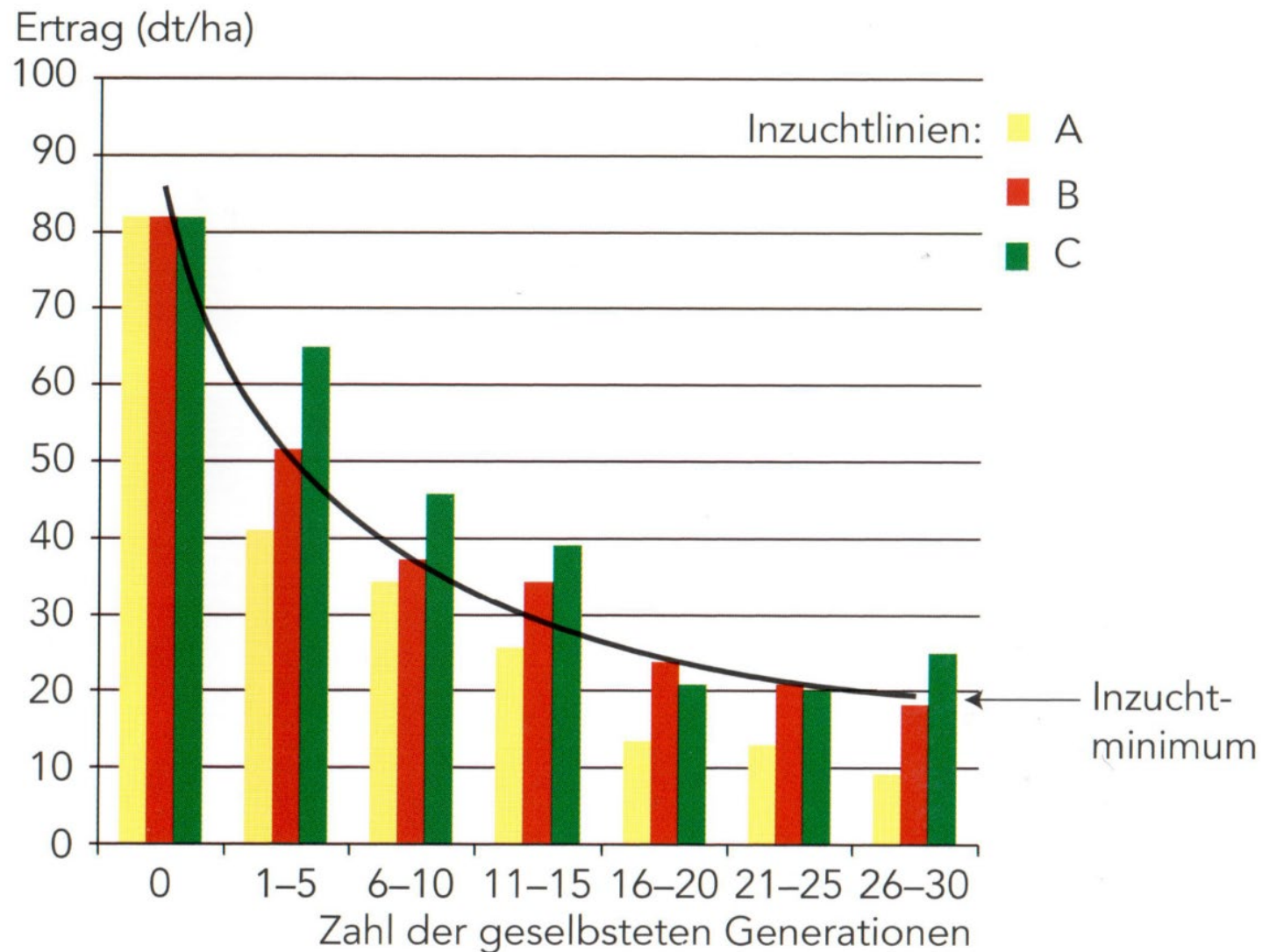
Die Erfahrung lehrt, dass bei Merkmalen wie Produktivität, Wüchsigkeit und ähnlichem die günstigen Allele eher dominant sind. Wenn sich nun die reinerbigen Eltern für die Verteilung reinerbig dominanter und rezessiver Allele komplementär unterscheiden, dann wird das Merkmal in der Hybride

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Prinzip der Hybridzüchtung



Inzuchtdepression



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Schema Erstellung Maishybriden



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Zuchtarbeit besteht häufig aus einfachen Tätigkeiten



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

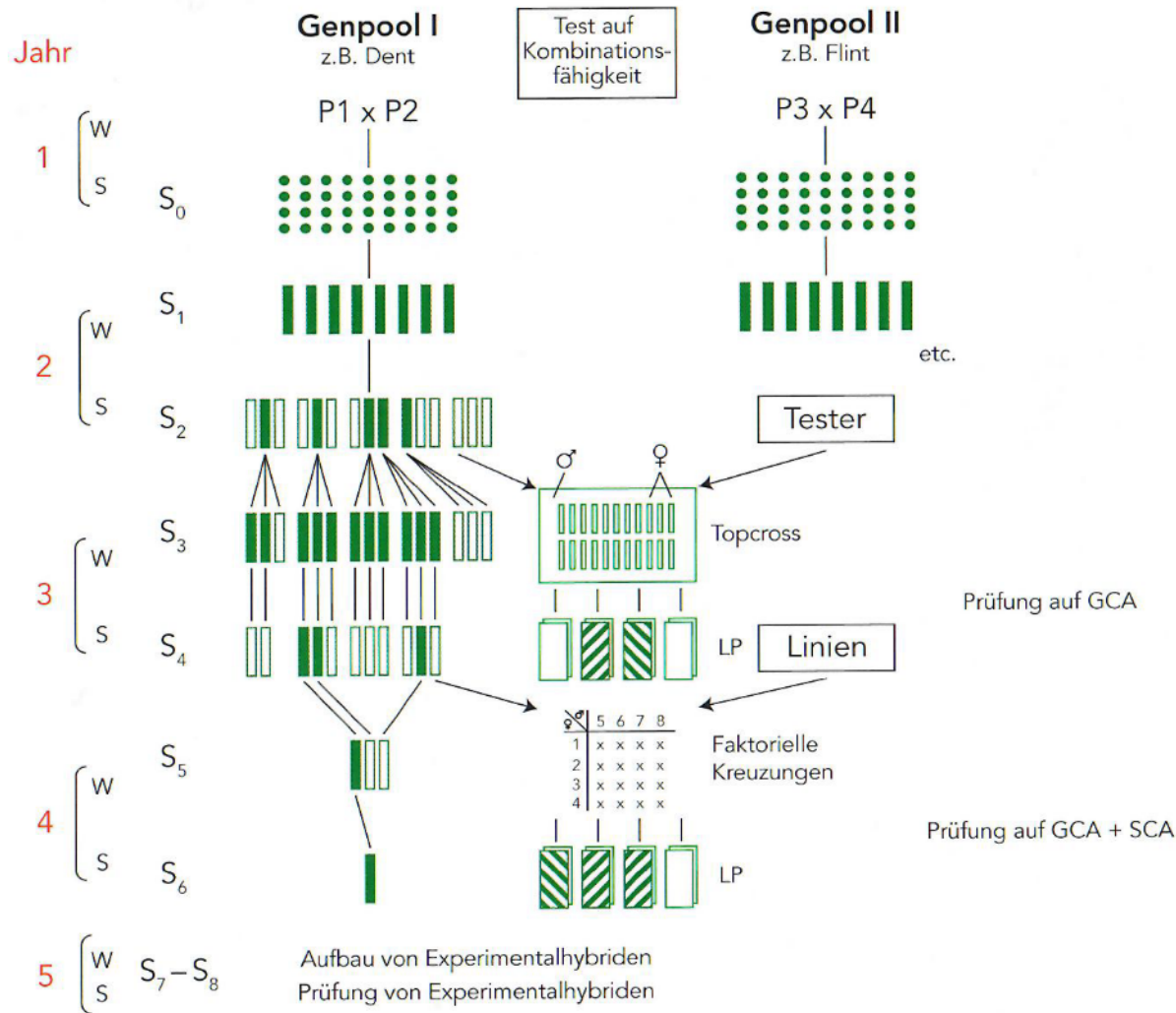
Genpools aus Dent und Flint



	Dent	Flint
Name	Zahnmais	Hartmais
Produktivität	sehr hoch	hoch
Ursprung	USA	Europa
Kühletoleranz	gering	hoch

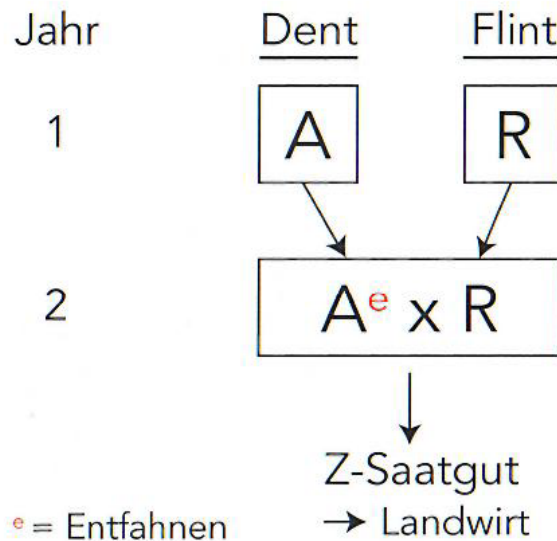
Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Zuchtschema zur Erzeugung von Einfach-Hybriden

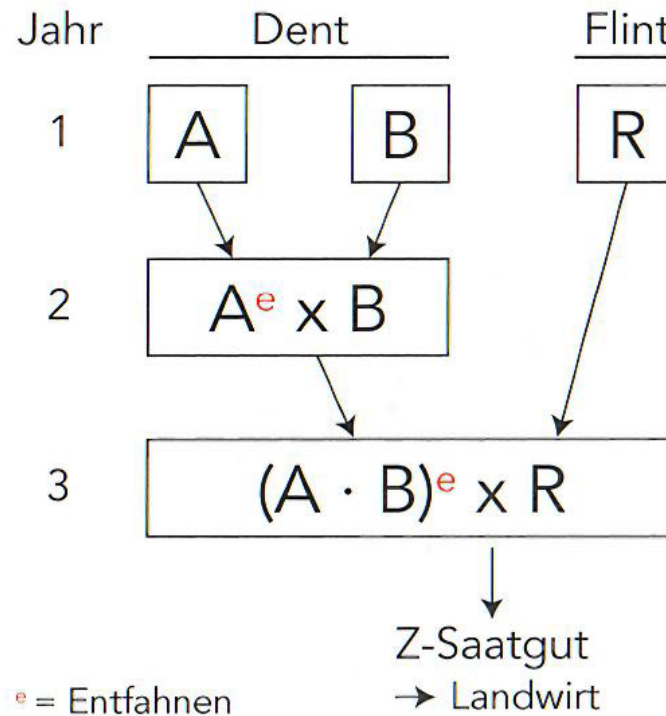


Einfach- und Dreiwegehybride

A. Einfachhybride



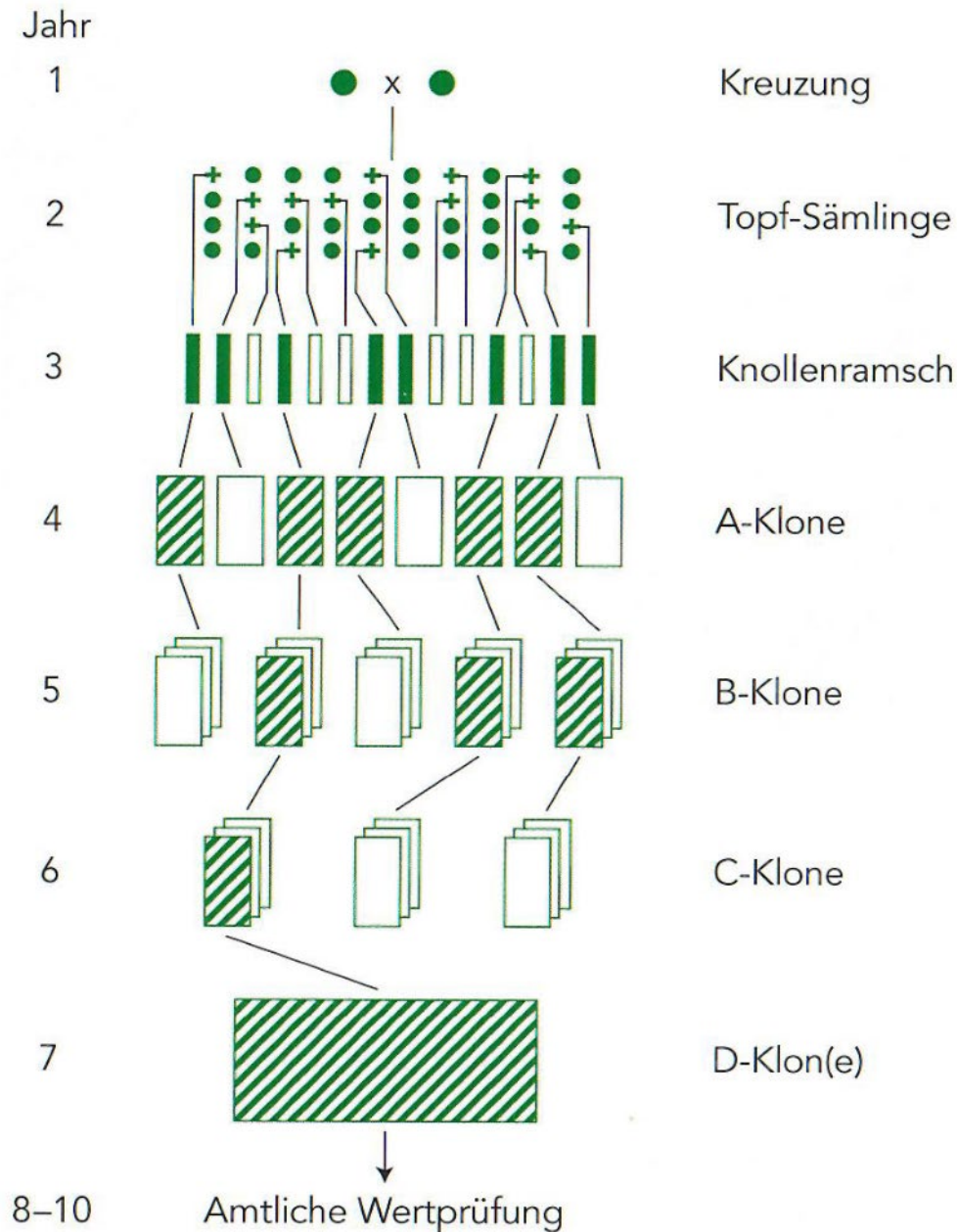
B. Dreiweghybride





VEGETATIVE VERMEHRUNG – KLONSORTEN

Schema Klonzüchtung



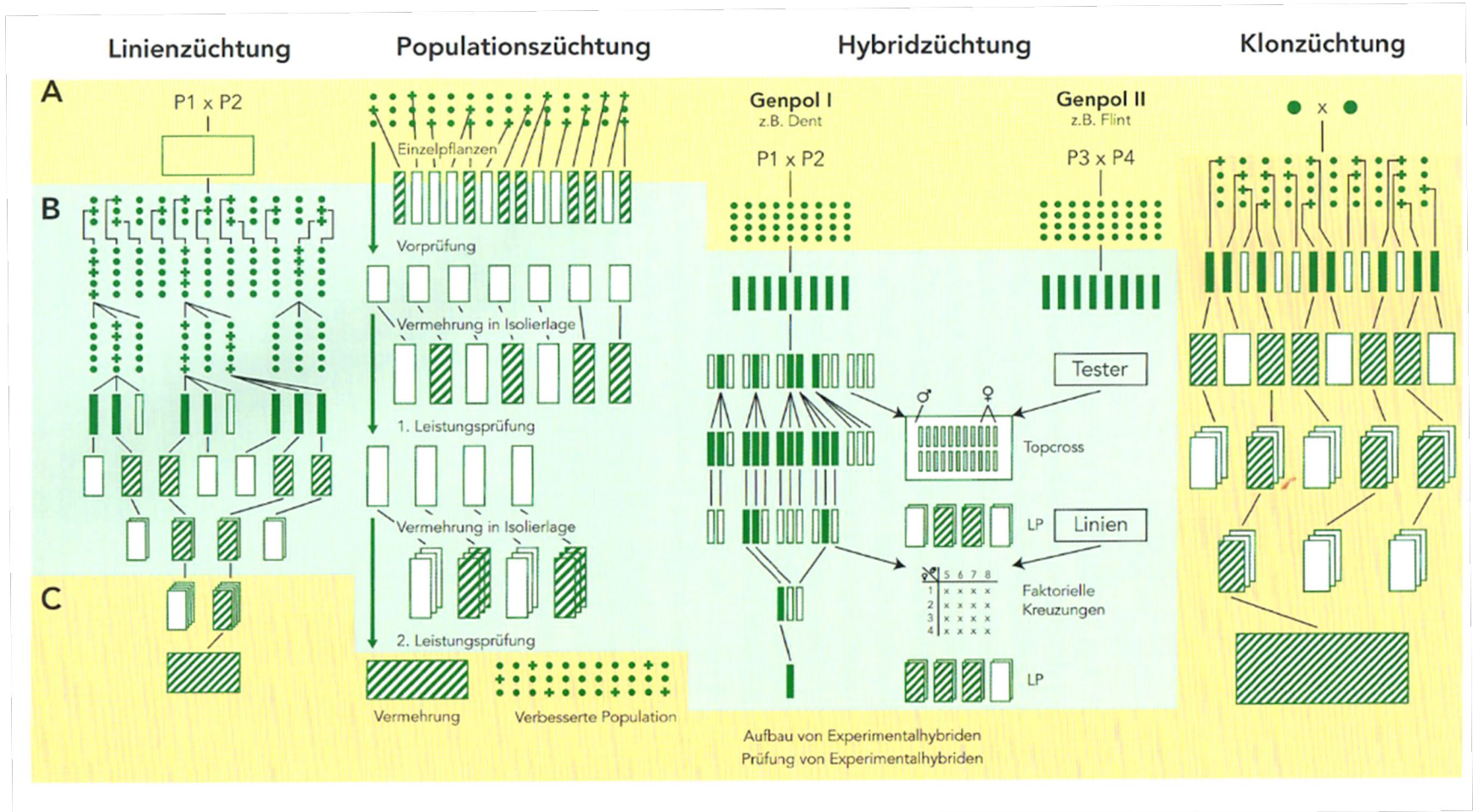
Selektion in der Klonzucht

Dimensionierungsbeispiel und Durchführung der mehrstufigen, gewichteten Selektion

Jahr	Anbaustufe	Anzahl Genotypen	Anzahl Knollen/ Genotyp	Anzahl Orte	Selektionsmerkmale
1	Kreuzung				–
2	Topfsämlinge	200.000	1	1	Vitalität, Reifezeit, Virus-erkennbarkeit, Augentiefe, Fleischfarbe
3	Knollenramsch	100.000	1	1	wie oben, zusätzlich: Virus-, Nematodenresistenz, Knollenform, -größe, Formschönheit, Schalenfarbe, Sortierung, Knollendeformation, Stärkegehalt
4	A-Klone	5.000	10	1	wie oben, zusätzlich: Rohverfärbung, Eignung für Chips und Pommes
5	B-Klone	600	50	1–3	wie oben, zusätzlich: Ertrag, Schwarzfleckigkeit, Koch-eigenschaften, Geschmacksprüfung
6	C-Klone	120	250	3	wie oben
7	D-Klone	30	1.250	3–6	Ertrag, Auswahl der Besten für Wertprüfung

Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung

Zusammenfassung Sortentypen und ihre Zuchtschemata



Quelle: Miedaner 2010, Grundlage der Pflanzenzüchtung