

*FiBL Dossier nr. 2, 2001*  
Dansk udgave 2005



# ***FiBL DOSSIER***

## **Teknikker til planteforædling**

**En vurdering for  
den økologiske  
planteforædling**

*I samarbejde med:*



Soil Association



**Bioland**  
ÖKOLOGISCHER LANDBAU

## Kolofon

Redaktør: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Ackerstrasse, P.O. Box, CH-5070 Frick, Phone: +41 (0)62 865 72 72, Fax: +41 (0)62 865 72 73, E-mail: [admin@fibl.ch](mailto:admin@fibl.ch), Homepage: [www.fibl.ch](http://www.fibl.ch)  
Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) Berlin e.V., Rungestrasse 19, D-10179 Berlin, Phone: +49 (0)30 27 58 17 50, Fax: +49 (0)30 27 58 17 59, E-mail: [Berlin@fibl.de](mailto:Berlin@fibl.de)

Forfattere: Eric Wyss (FiBL, Frick), Edith Lammerts van Bueren (Louis Bolk Institute, Driebergen), Marjolein Hulscher (Louis Bolk Institute, Driebergen), Michel Haring (University of Amsterdam)

Medforfattere: Christine Arncken-Karutz (FiBL, Frick), Robert Haward (Soil Association, Bristol), François Lhopiteau (Institut Technique pour l'Agriculture Biologique, Paris), Eckard Reiners (Bioland Association Germany, Member of the Standards Committee of IFOAM), Klaus-Peter Wilbois (FiBL, Berlin)

Samarbejde: Beat Keller (University of Zurich), Jos van Damme (Netherlands Institute of Ecology, Heteren), Peter van Dijk (Netherlands

Institute of Ecology, Heteren), Michael Winzeler (Federal Research Station for Agroecology and Agriculture, Zurich-Reckenholz)

Redaktion: Thomas Alföldi (FiBL, Frick)

Grafiker: Daniel Gorba (FiBL, Frick)

Oversættelse: Robert Haward (engelsk version), Manuel Perret (fransk version), Jessamjin Miedema og Anne Bruinsma (hollandsk version), Eric Wyss and Markus Bär (tysk version), Klaus Loehr-Petersen og Hans Peter Abrahamsen (dansk version)

Omslagsfoto: Kastrering af en blomkålsblomst, Jan Velema (Vitalis Biologische Zaden BV)

Dette Dossier findes på engelsk, tysk, fransk, hollandsk og dansk

Pris ved salg fra FiBL: 8 Euro + porto.

Dansk udgave: 60 kr. + porto.

# Forord til den danske udgave

Dette hæfte om forædlingsteknikker er skrevet på baggrund af, at kun meget få jordbrugere, konsulenter og organisationsfolk i den økologiske brandhe har kendskab til, hvordan moderne frø bliver fremstillet. Formålet er at informere om hvilke teknikker, der anvendes, og stimulere til en kvalificeret debat om, hvilke af disse der passer til de principper, det økologiske og biodynamiske jordbrug bygger på. Jordbrugernes mulighed for i fremtiden at kunne købe økologiske frø, eller selv producere frø af egne afgrøder, afhænger af en stillingtagen til forædlingsteknikkerne og konsekvent handling ud fra indsigt og beslutninger.

Reglerne for økologisk jordbrugsproduktion, EF Forordningen 2092/91 og de danske økologiregler, har ikke specificeret andre teknikker end gensplejsning, der ikke må anvendes i forædling af frø til økologisk jordbrug.

De internationale Demeterregler for biodynamisk jordbrug afspejler de biodynamiske jordbrugeres holdning til frøfremstillingen. Reglerne udelukker anvendelsen af frø, der er fremstillet på basis af cytoplasma/protoplasma-fusionsteknikker (cellefusion), de såkaldte CMS-hybrider. De udelukker desuden F1-hybrider af hvede og rug samt anbefaler, at biodynamikere generelt fravælger F1-hybrider og i stedet anvender biodynamisk og økologisk producerede sortsfaste/OP-sorter. Som konsekvens af denne holdning blev der for godt 10 år siden etableret et internationalt samarbejde mellem forældre, fremavlere og virksomheder om at markedsføre biodynamiske frø af sortsfaste sorter. Forædlingen foregår efter traditionelle selektionsmetoder og

særlige biodynamiske principper, der ikke indebærer indavl eller indgreb i planterne på DNA- eller celleniveau.

I FOAMs Draft Standards sektion 'Plant Breeding and Multiplication Draft Standards' tillader ikke sterile F1-hybrider og brugen af cellefusionsteknikker. Sidstnævnte betragtes som en genteknologisk metode.

Denne danske udgave er udgivet af Foreningen for Biodynamisk Jordbrug i forbindelse med et projekt i 2004 og 2005 om anvendelse af sortsfaste sorter som alternativer til F1-hybrider, støttet af Fonden for Økologisk Landbrug og Innovationsloven.

Materialet er udgivet med tilladelse fra Forskningscenter FiBL, Schweiz og oversat af biolog Hans Peter Abrahamsen og projektleder Klaus Loehr-Petersen.

En engelsk udgave af hæftet kan købes hos FiBL (se kolofonen side 2) og hos Foreningen for Biodynamisk Jordbrug, Økologiens Hus, Frederiksgade 72, 8000 Århus C, 86 19 94 45, biodynamisk-forening@mail.tele.dk for 100 kr. inkl. moms, ekskl. porto.

Denne danske udgave koster 60 kr. inkl. moms, ekskl. porto.

På foreningens hjemmeside [www.biodynamisk.dk](http://www.biodynamisk.dk) findes flere oplysninger om spørgsmålet om fremstilling og anvendelse af forskellige typer frø.

*Foreningen for Biodynamisk Jordbrug, november 2005*



Testdyrkning af sortsfaste gulerodssorter.



Formeringsavl af gulerodsfrø.

**Frø udgør grundlaget for landbrugsproduktionen, men de fleste økologiske gartnere og landmænd ved kun lidt om, hvordan deres frø bliver fremstillet. I den økologiske bevægelse er diskussionen om hvilke forædlingsmetoder, der er forenelige med de økologiske principper, blevet stimuleret af den offentlige debat om genteknologi. Holdningen til gensplejsning er vigtig for at udvikle en ramme for den økologiske planteforædling og dermed for forædlernes investeringer.**

**Dette hæfte beskriver alle de standardteknikker, der anvendes i moderne planteforædling, og hvorfor de er blevet udviklet. Der er redegjort for konsekvenser af at forbyde visse teknikker i fremstillingen af frø til økologisk jordbrug, og der er beskrevet hvilke alternative teknikker, der kan anvendes.**

## Introduktion

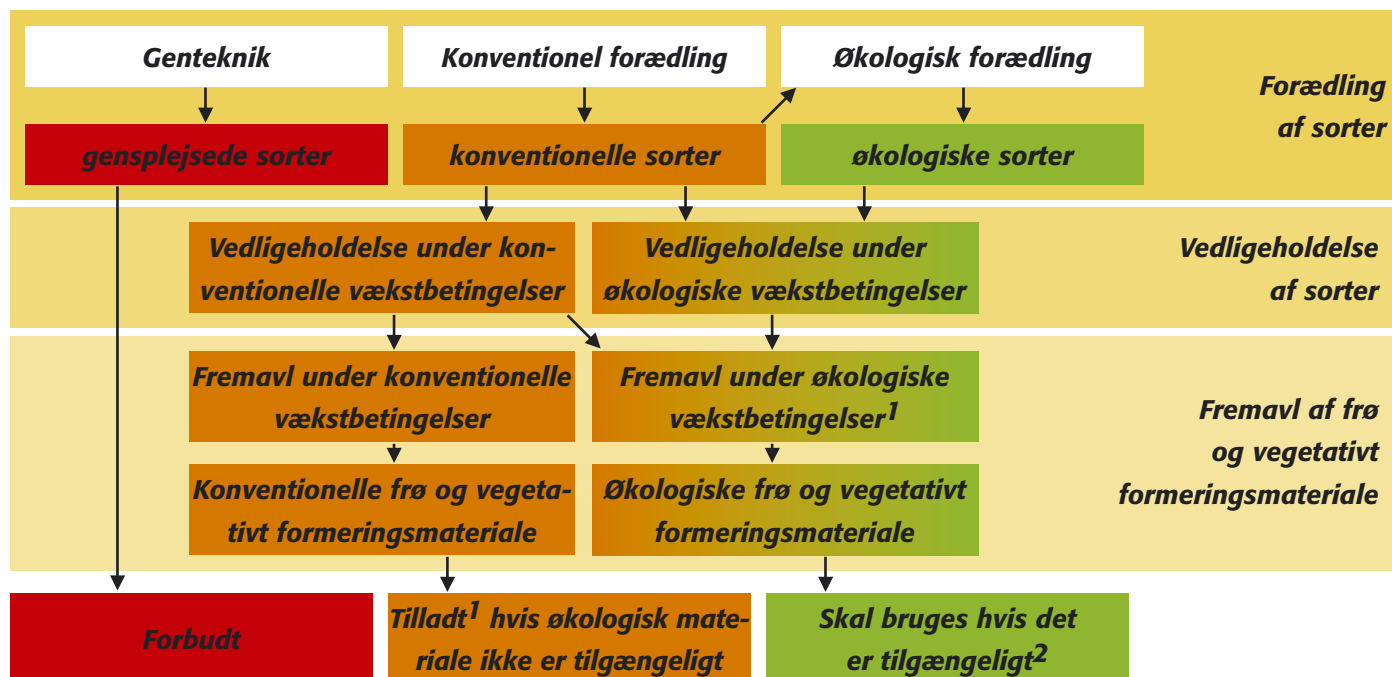
Det er vigtigt at teknikker til forædling, formering og vedligehold er kendt og vurderet for at man kan bedømme, om de er i overensstemmelse med tekniske, etiske og miljømæssige principper for økologisk jordbrug. Denne proces har betydning for den aktuelle debat i de enkelte lande og internationalt i forbindelse med, at der er krav om at anvende økologisk udsæd fra 2004 (EF Forordning 2092/91). Spørgsmålet om planteforædlingsteknikker og deres relation til økologisk jordbrug er kompleks: de tekniske muligheder skal holdes op mod kravene til variation, dyrknings-sikkerhed og udbytte. En passende økologisk planteforædling skal udvikle forbedrede sorter til økologisk dyrkning uden at sætte den etiske og miljømæssige integritet over styr. Aktuelt er det kun gensplejsede frø, der ikke må anvendes i økologisk jordbrug (jf. 2092/91). Reglerne angiver desuden, at forældreplanter skal dyrkes mindst én generation under godkendte økologiske forhold. Figur 1 skal anskueliggøre definitionen på økologiske frø og økologiske sorter og viser de forskellige trin af forædling, vedligeholdelsesavl og fremavl (opformerings).

Formålet med dette hæfte er at udbrede kendskabet til moderne planteforædlingsteknikker for at kvalificere debatten om fremtidens økologiske planteforædling.

Derfor er mekanismen i teknikkerne beskrevet ved hjælp af enkle tegninger. Desuden er konsekvenser af at udelukke en metode anført, og relevante alternativer er beskrevet.

Sidst i hæftet er der, som en vejledning, formuleret nogle kriterier for, hvornår en teknik kan betragtes som værende i overensstemmelse med de økologiske principper.

**Figur 1: Overblik over forskellige niveauer af forædling, vedligeholdelsesavl og fremavl**



1 Forældreplanter af et-årige afgrøder skal dyrkes mindst én generation under økologiske vækstbetingelser, mens to-årige og flerårige planter skal dyrkes mindst to vækstperioder under økologiske vækstbetingelser.

2 Fra 2004 skal økologiske jordbrugere anvende økologiske frø og udplantningsmaterialer, hvis de er tilgængelige.

# Behovet for økologisk planteforædling

I løbet af de seneste 50 år har planteforædlingen udviklet sig for at imødekomme behovet fra landbrugets stadigt mere intensive produktion med fokus på større udbytte, holdbarhed og perfektioneret udseende, baseret på dyrkning med kunstgødning og pesticider. Hidtil har økologiske jordbrugere brugt de konventionelt forædlede sorter, men der stilles i stadigt højere grad spørgsmål ved, om disse sorter opfylder de krav, den økologisk produktion stiller. Er konventionelt fremstillet frø og vegetativt materiale tilpasset de vilkår, der gælder i det økologiske jordbrug? Hvad forventer forbrugeren af en økologisk sort - sunde, velsmagende og unikke produkter?

Et økologisk produkt kan ikke kun bedømmes ud fra, hvordan det er, men må også ses i sammenhæng med, hvordan det er fremstillet. Dette aspekt bør også tages med, når man vurderer forædlingen af frø til landbrugs- og gartneriafgrøder.

Formålet med økologiske og nogle moderne konventionelle forædlingsprocesser har uden tvivl noget til fælles. Der er imidlertid en række hensyn, der er særligt vigtige ved udvikling af udvikle sorter, der passer til økologisk dyrkning:

- optimal tilpasning til lokale klima- og jordbundsforhold
- god næringsoptagelse
- god resistens og tolerance overfor sygdomme og skadedyr
- stabile udbytter
- god lagerholdbarhed
- ernæringsmæssige og sensoriske kvaliteter

Formålene med økologisk planteforædling bør defineres for de enkelte afgrødetyper i en dialog mellem jordbrugere, forædlere, forhandlere og forbrugere.

## Teknikker til planteforædling og -formering

### *Hvordan virker forædling og formering?*

Generelt kan planteforædling beskrives som summen af de aktiviteter, der skal til for at forbedre de genetiske egenskaber i en kulturplante.

Når man som forædler vil udvikle en ny sort med et eller flere specifikke formål, må man finde forældreplanter (andre sorter eller vilde slægtninge) med egnede karakteregenskaber. For at frembringe planter med de ønskede egenskaber, skal forældreplanterne krydses. Krydsningen resulterer i et stort antal planter med forskellige genetiske sammensætninger (population). I den næste plantegeneration må man udvælge/selekttere planterne med de bedste kombinationer fra forældreplanterne. Der findes flere metoder til at foretage denne selektion. Valget af metode afhænger af plantetypen (selvbestøver, fremmedbestøver eller planter med vegetativ formering) og hvilke karakteregenskaber, man ønsker.

Nytteværdien af en ny sort sammenlignes med eksisterende sorter ved officielle sortsafprøvninger. Hvis en ny sort kan skelnes fra alle andre sorter og er ensartet og stabil gennem flere generationer, kan forædleren få den anerkendt som en ny sort.



## Generel skelnen mellem forædlingsteknikker

Planteformering er karakteriseret ved tre hovedtrin:

- fremstilling af variation ved krydsning eller variationsskabende behandling
- selektion af ønskede egenskaber i nye sorter
- forplantning og formering af avlslinier

Ved hver fase kan der anvendes forskellige teknikker. Man kan generelt skelne mellem avls- og formeringsteknikker, der virker på


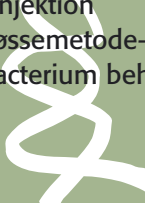
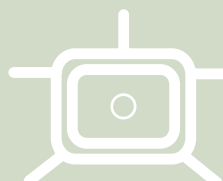


- plante/populationsniveau
- celle/vævsniveau
- DNA-niveau

Tabel 1 giver et overblik over alle beskrevne teknikker i hæftet\*. Teknikker, der anvendes på planteniveau, udføres på planter i deres "naturlige" miljø, jorden. Teknikker på celle- og DNA-niveau udføres under laboratorieforhold, inden de udviklede sorter afprøves ved markforsøg. Nogle teknikker på celle-niveau og specielt DNA-teknikker gør det muligt at overskride naturlige barrierer.

Alle celle- og vævskulturer forudsætter planternes evne til at gro på syntetisk vækstmedie og på at reagere på påvirkninger fra anvendte blandinger af tilførte plantehormoner.

Alle plantematerialer i laboratorier overfladedesinficeres og gror antiseptisk for at undgå smitte af mikroorganismer.

**Tabel 1: Forædlings- og opformeringsteknikker – på hvilket trin af forædlings-processen (frembringe variation, selektion, opformering) og på hvilket niveau (plante, celle, DNA) de foregår**

	Plante-/populationsniveau	Celle-/vævsniveau	DNA niveau
Frembringe variation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombinationsforædling</li> <li>• Krydsning af sorter</li> <li>• Mellemleds-krydsning</li> <li>• Gentagen tilbagekrydsning</li> <li>• Temperaturbehandling</li> <li>• Afskåret/podet griffel</li> <li>• Mentorpollenteknik</li> <li>• F1-hybrid forædling</li> <li>• Induceret (provokeret) mutation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Støvknop-/mikrosporekultur</li> <li>• "In vitro" bestøvning</li> <li>• Polyploidisering</li> <li>• Protoplast-/cytoplastfusion</li> <li>• Somaklonal variation</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DNA-overførsel:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- PEG-understøttet overførsel</li> <li>- elektropunktering</li> <li>- mikroinjektion</li> <li>- Haglbøssemetode-overførsel</li> <li>- Agrobacterium behandling</li> </ul> </li> </ul> 
Selektion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masseselektion</li> <li>• Pedigree selektion</li> <li>• Voksestedorienteret selektion</li> <li>• Skiftende omgivelser/vækstmiljø</li> <li>• Skiftende såtidspunkt</li> <li>• Aks-bed metode</li> <li>• Indirekte selektion</li> <li>• Test-krydsninger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "In vitro" selektion</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selektion understøttet af DNA-markør</li> </ul> 
Opformering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kønned opformering</li> <li>• Ukønned opformering:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- deling af knolde - afplukke-de skæl, udhulede/delte løg</li> <li>- yngleknopper, yngleløg</li> <li>- aflæggerknolde - aflæggere, stiklinger, podede skud</li> <li>- rhizomer</li> </ul> </li> <li>• Apomiksis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "In vitro" opformering</li> <li>• Meristemkultur</li> <li>• Somatisk kimdyrkning</li> </ul> 	

I de følgende kapitler beskrives en række planteavlsteknikker: først teknikker, der anvendes på plante- eller afgrøde-niveau, derefter teknikker der anvendes på hhv. vævs-, celle- og DNA-niveau. De mest kontroversielle teknikker i forhold til økologisk planteavl er de, der anvendes på celle- og DNA-niveau.

De såkaldte "in vitro"-teknikker (in vitro betyder i glas) bliver anvendt i stigende grad i den konventionelle forædlings-teknologi, og danner grundlaget for udvikling af et meget stort antal sorter af grønsager, blomster og kornafgrøder. Man kan imidlertid indvende, at disse teknikker ikke er passende for økologisk jordbrug, da der ikke er nogen kontakt mellem planten og jorden i in vitro-processer.

Under beskrivelse af den enkelte teknik i hæftet er der angivet for og imod (pro og kontra) teknikken, set fra et økologisk synspunkt. Under "konsekvens for afvisning" skelnes der mellem to niveauer:

- konsekvenser på sorts-niveau: afvisning af teknikken vil betyde et forbud mod at anvende alle sorter, der er fremstillet med denne teknik
- konsekvenser på forædlings-niveau: afvisning af teknikken fører til restriktioner for fremtidige avlsprogrammer.

Anvendelse af gensplejsede organismer er forbudt i økologisk jordbrug (EF Forordning 2092/91). Teknikken er derfor ikke beskrevet i dette hæfte.

Diagnosemetoder på grundlag af DNA-analyser, der gør det muligt at selektere på DNA-niveau, er ikke nødvendigvis genteknologiske, da de ikke ændrer plantens DNA. Disse metoder bør derfor vurderes i relation til økologisk jordbrug og er beskrevet i dette hæfte.

Protoplasmafusion er beskrevet og vurderet, da det er relateret til genteknologi og kan indebære, at store stykker af kromosomer flyttes mellem uforenelige arter.

## En forenklet historie - forædling og formering af tomater



Blomsten af en udvalgt tomatplante er kastret (støvdragerne fjernet) ...



... og pollen fra en anden udvalgt tomatplante indsamles.



Pollen bliver overført til støvfanget (griflen) for at befrugte den. Den krydsning skaber variation.



Afkommet selekteres efter forskellige kriterier som resistens mod sygdom, smag eller udbytte.



Efter en lang testperiode bliver den nye sort opformeret ...



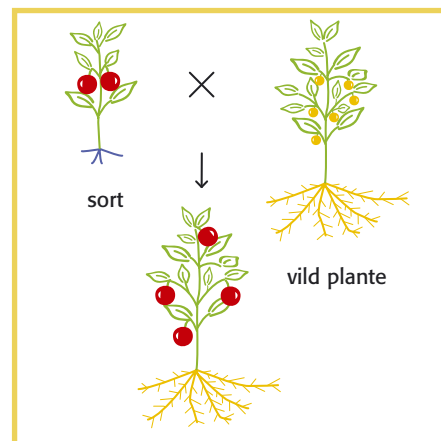
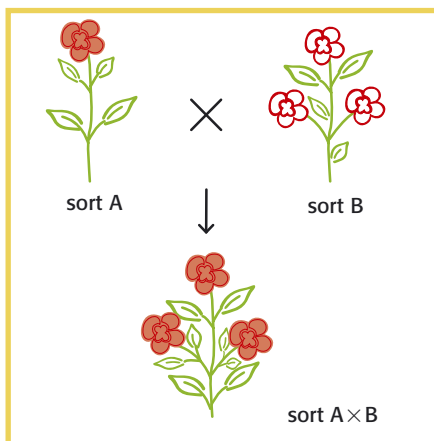
... for at få frø til at sælge.

## Tekniske muligheder: forklaringer, anvendelser og alternativer

### Teknik til at frembringe variation på plante-/afgrødeniveau



Krydsning af hvede: præparering af blomster (kastretning)...



... manuel bestøvning ...



... og beskyttelse af aks med små poser efter bestøvning.

Fotos: Gabriela Brändle, FAL

#### Kombinationsforædling



##### Forklaring:

Krydsning af to genotyper af den samme art, f. eks. to vejetablerede sorter. Alt efter planteart og formeringstype (ukønnet, selvbestøvende eller fremmedbestøvende) opformerer og selekteres et antal generationer efter krydsningen.

##### Anvendelse:

Kombinationsforædling anvendes i vid udstrækning til at skabe variation i forædlingslinier.

#### Krydsning af sorter eller arter



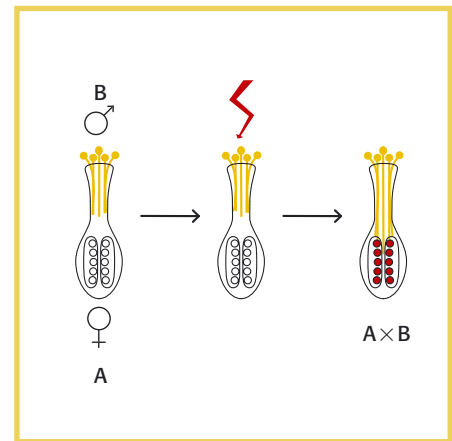
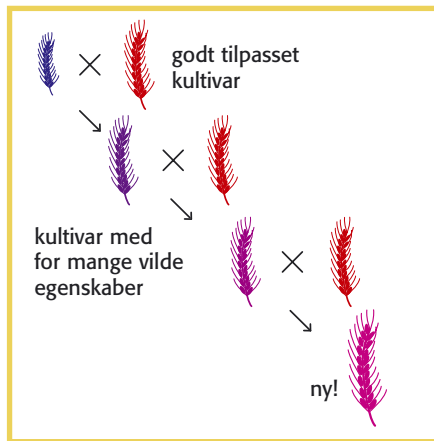
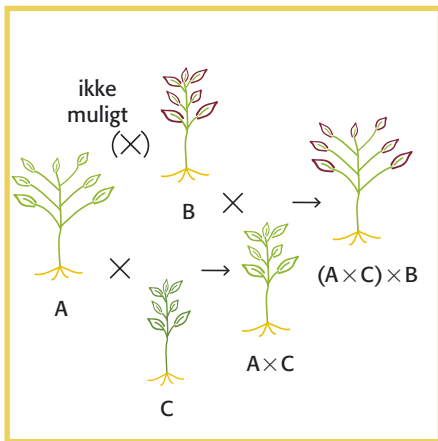
##### Forklaring:

Krydsning af planter med kultivarer fra andre klimazoner, med vilde slægtninge eller nærtstående arter. Der ses herved ofte en begrænsning af plantens muligheder for at befrugte den fremmede plante. Forældre har i dag udviklet en række metoder til at overvinde disse krydsningsbarrierer, bl.a. behandling af blomsterne eller kultur af kimplanter fra umodne frø (embryo rescue). Disse metoder kan udføres i laboratorier eller væksthuse. Metoderne beskrives senere i dette hæfte.

##### Anvendelse:

Udbredt anvendt teknik, men med varierende succesrate.





## Mellemedskrydsning



### Forklaring:

En metode til at krydse ikke kompatible sorter eller genotyper ved brug af et mellemed, i form af krydsning med en tredje art eller genotype, som er delvis kompatibel med begge. Den vilde plante krydses først med en anden (vild) plante. Afkommet selekteres for de ønskede egenskaber, og den derved fremkomne linie krydses endelig med den udvalgte sort.

### Anvendelse:

Denne metode kan anvendes hvis de ønskede kendetegn er lette at selektere for. Mellemedskrydsninger er en tidsrøvende proces at gennemføre. Har man først fået indført den ønskede egenskab i den udvalgte sort, er det nødvendigt, med gentagne tilbagekrydsninger, at fjerne så mange som muligt af de uønskede "vilde egenskaber" som er fulgt med.

## Gentagne tilbagekrydsninger



### Forklaring:

Krydsninger af arter kan føre til afkom med for mange vilde egenskaber, som gør det vanskeligt at selektere for de værdifulde kendetegn. I disse tilfælde kan gentagne tilbagekrydsninger med en egnet sort fjerne en del vilde og/eller eksotiske kendetegn. Derved opstår en genotype meget lig den oprindelige sort, men med tilføjelse af de ønskede egenskaber. En forædler må i reglen foretage tre-fire tilbagekrydsninger før han kan gå videre til pedigree selektion (se side 15).

### Anvendelse:

Gentagne tilbagekrydsninger bliver altid benyttet når man vil føje et nyt ønskværdigt kendetegn til en veletableret sort. På denne måde har man kunnet forædle sig frem til sorter med en høj tolerance overfor biotiske og abiotiske stressfaktorer. Et eksempel er tilføjelsen af race-specifikke resistenser overfor svampesygdomme i salater, tomater og mange kornafgrøder.

## Temperaturbehandling af griflen

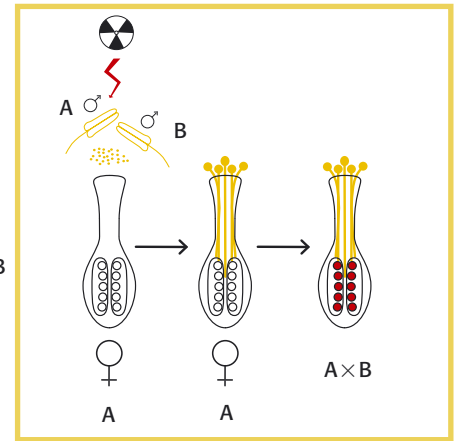
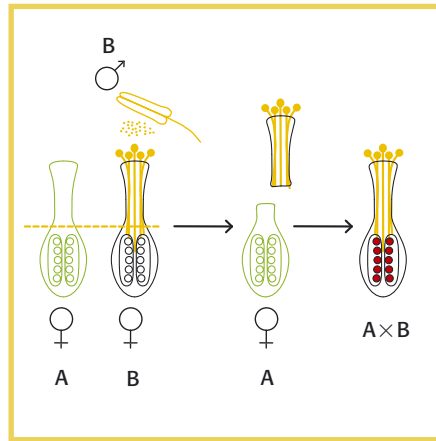
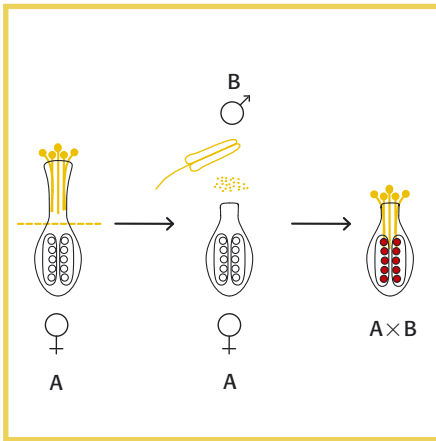


### Forklaring:

Ved at udsætte planten eller griflen for forhøjede temperaturer i en periode, kan man overvinde nogle af de krydsningsbarrierer, der er lokaliserede i griflen. Efter temperaturbehandlingen kan pollenet bane sig vej gennem griflen til frøanlægget.

### Anvendelse:

Bliver ofte anvendt til prydblplanter (f.eks. liljer).



## Afskåret griffel



### Forklaring:

Denne metode bliver anvendt hvis pollenkorntet ganske vist spirer på støvfanget, men ikke vokser langt nok ned i griffelen så frøanlægget ikke befrugtes. Nogle gange opnås befrugtning ved at skære en del af griffelen af den hunlige plante og anbringe pollen, blandet med slim fra støvfanget, på den friske snitflade. Pollenet skal således kun vokse en kort vej, hvilket øger chancen for befrugtning.

### Anvendelse:

Denne metode bliver kun anvendt ved få planter, især pryddplanter med en lang griffel. Frø vil kun dannes i de tilfælde, hvor de to arter er nære slægtninge.

## Podet griffel



### Forklaring:

Denne metode kan anvendes hvis pollenet ikke vil spire på moderplantens støvfang. Pollenet anbringes først på et støvfang fra en plante af samme art, så det spirer rigtigt og vokser ned gennem griffelen. Griffelen bliver så skåret af lige under det sted hvor spidsen af pollenrøret er nået til, og podet på den ønskede moderplantes afskårne griffel. Når de to griffeler er forbundne, kan pollenrørene vokse videre til frøanlæggene og befrugte dem.

### Anvendelse:

Af praktiske grunde er denne metode kun anvendelig ved planter med lange og tykke griffeler. Den bliver mest benyttet til pryddplanter, som f.eks. liljer.

## Mentorpollenteknik



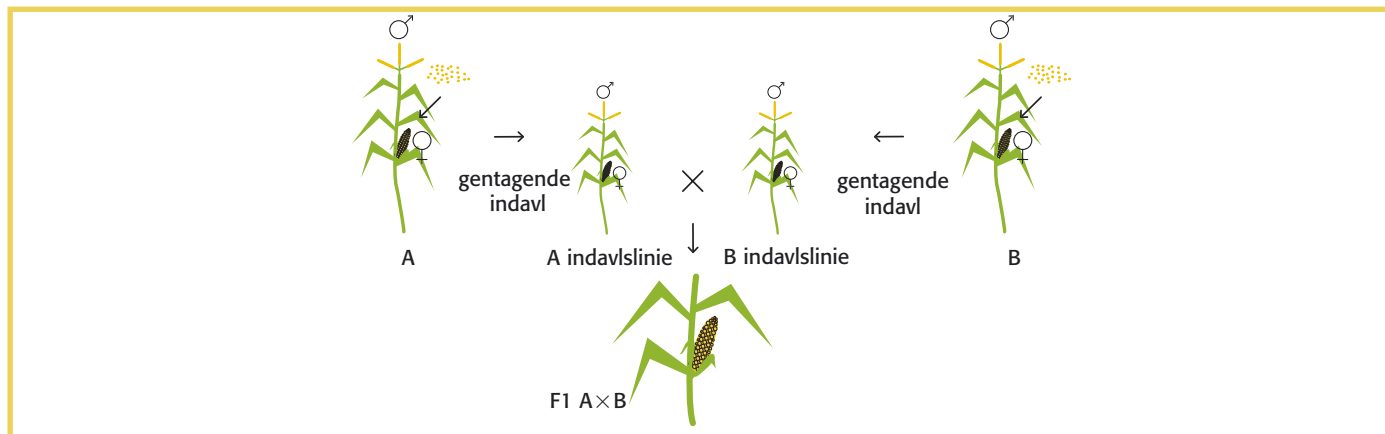
### Forklaring:

Mentorpollenteknik kan anvendes til at løse problemer med genkendelse og manglende grokraft hos pollenet. Dertil blandes først pollen fra den ønskede faderplante med pollen fra den art som moderplanten tilhører. De sidstnævnte er i forvejen ved radioaktiv bestråling blevet delvist inaktiveret; de er stadig spiredygtige, men ikke mere i stand til at befrugte. Pollenrøret fra mentorpollenet leder pollenrøret fra den ønskede faderplante til frøanlægget, som så befrugtes. Man kan også undlade bestråling af mentorpollenet, der så stadig vil være i stand til at befrugte. Anvendelse af disse vil dog være mindre effektiv, da de vil konkurrere med pollen fra den ønskede faderplante.

### Anvendelse:

Denne teknik anvendes hovedsagligt til forædling af pryddplanter.

## Teknik til at frembringe variation på plante-/afgrødeniveau



### F1 hybridforædling:



#### Forklaring:

Hybridisering er en måde at opnå meget ensartede og produktive sorter på. Forældrelinier (af fremmedbestøvende) er nødt til at blive indavlet i flere generationer for at opnå homozygote indavlslinier. F1 hybriden er resultatet af en krydsning mellem to homozygote indavlslinier. Disse indavlslinier er somme tider degenererede, men ved krydsning er deres afkom (F1 hybrider) meget ensartede og kraftige i vækst på grund af heterosiseffekten. F1 hybriderne repræsenterer den nye sort og sælges således til avleren. Derfor er det nødvendigt at producere store mængder af frø ved at bestøve den indavlede hunlige linie med pollen fra den indavlede hanlige linie. I planter hvor hunlige og hanlige blomster er fysisk adskilte (enbo), fjernes de hanlige blomster mekanisk (f.eks. majs). Andre afgrøder bliver manuelt kastreret, eller cytoplasmatiske hanlig sterilitet (CMS) bliver introduceret i den mødre linie ved indkrydsning eller protoplast fusion (se side 14). Til at vedligeholde den hunlige linie benyttes såkaldte "restorer"-linier uden hanlig sterilitet, men som har samme genetiske sammensætning som den mødre linie. I frøproducerende afgrøder er disse "restorer"-gener også tilstede i de fædre linier, således at den resulterende F1 hybrid kan producere fertile pollen og frø.

På grund af F1 hybrid frøenes heterozygote natur vil afkom af disse planter være meget heterogent (opsplitning af ønskede egenskaber). Det er derfor usandsynligt at frø fra en F1 hybrid afgrøde vil give samme kvalitet og udbytte som frøene købt fra forædlervirksomheden (indbygget produktbeskyttelse). Jordbrugere er således tvunget til at købe nye frø hvert år, og dette økonomiske aspekt er hovedårsagen til at hybrider er så populære hos forældre.

#### Anvendelse:

Udbredt anvendt teknik i mange afgrøder (grøntsager, majs, rug, solsikke).

#### Pro og kontra

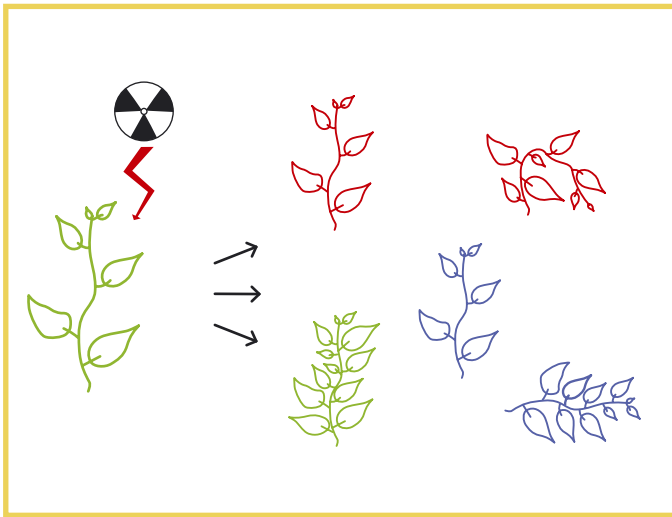
- Pro:
- ensartede og produktive afgrøder.
  - indbygget produktbeskyttelse som en økonomisk garanti for forældre.
- Kontra:
- gentagen indavl af forældre-linierne kan føre til planter, som ikke vil kunne overleve under økologiske forhold.
  - hybrider kan ikke levere brugbare frø, og jordbrugere er derfor tvunget til at købe nye frø.
  - den ernæringsmæssige værdi af hybrider er omdiskuteret.

#### Konsekvenser af en afvisning:

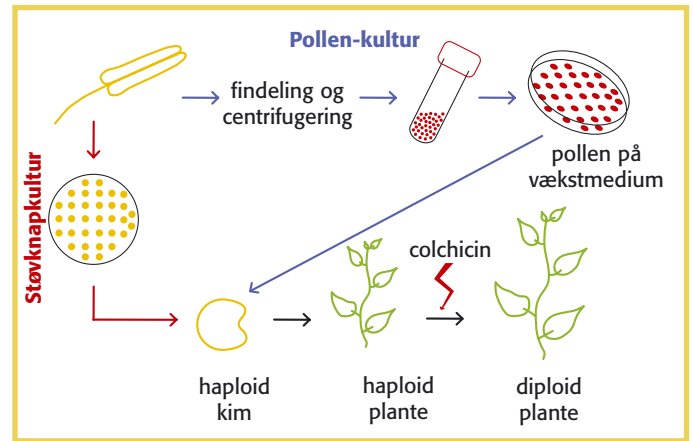
- På sorts niveau: en total afvisning af F1 hybrider i alle afgrøder ville gøre produktionen af grøntsagsafgrøder vanskelig i de næste 5-15 år, fordi mange etablerede afgrøder ville skulle udskiftes. Hvis forbudet er begrænset til CMS hybrider uden "Restorer" gener, vil nogle få grøntsagsarter (porre, kål) ikke være tilgængelige for økologisk jordbrug (se også protoplast-fusion).
- På forædlingsniveau: der måtte etableres tidskrævende forædlingsprogrammer for at frembringe sorter med sammenlignelige egenskaber, og derudover findes nye regler til at beskytte forædlingsarbejdet.

#### Alternativer:

Indenfor de fremmedbestøvende arter kan kvalitets- og udbytteforbedringer opnås ved pedigree- og masseselektion. Hvis F1 hybridselektion bedømmes til at være en teknik som ikke kan tillades i fremtidens økologiske forædlingsarbejde, må alle andre "traditionelle" forædlingsteknikker evalueres for hver enkelt kultur, for at opstarte særlige økologiske forædlingsprogrammer.



## Teknik til at frembringe variation på celle-/vævsniveau



### Induceret mutation:



#### Forklaring:

Nye egenskaber fremkommer ofte ved mutationer eller ændringer i DNA. Mutationer kan optræde spontant under celledelingen (f.eks. når udsat for sollys, kulde eller varme, radikaler). Mutationer lader sig også fremprovokere (inducere) ved bestråling eller kemiske midler. De fleste mutationer er recessive og som sådanne ikke direkte synlige i den behandlede plante. Efter en selvbestøvning kan man imidlertid identificere de muterede genotyper i afkommet, hvis to recessive alleler bliver kombineret i én plante.

#### Anvendelse:

Eksempler på genetisk variation opnået ved induceret mutation er prydblplanter med forandrende blomsterfarver, nogle sorter af sød kirsebær og korn med dværgvækstgener. Selvom der stadig er et stort udvalg af velafprøvede mutagener på markedet, bliver denne teknik ikke så ofte anvendt mere. Denne metode bliver tit kombineret med "in vitro" selektion for resistens overfor salt, tungmetaller og giftige kemiske forbindelser.

#### Pro og kontra:

- Pro: - hurtig inducering af variation når der er brug for nye egenskaber.  
 Kontra: - anvendelse af giftige substanser eller stråling.  
 - kan erstattes af mindre farlige teknikker.

#### Konsekvenser af en afvisning:

På sortsniveau: hvis sorter opstået ved induceret mutation afvises, vil det berøre enkelte sorter i forskellige kulturer (f.eks. sød-kirsebær og prydblplanter). Det er imidlertid ikke sikkert om disse sorters forhistorie kan spores tilbage.

På forædlingsniveau: intet nævneværdigt tab.

#### Alternativer:

Mutationer forekommer også spontant. Den naturlige variation i vilde planter, kombineret med almindelige krydsningsteknikker, kunne derfor måske være tilstrækkeligt til at frembringe de ønskede egenskaber.

### Støvknæk- og mikrosporokultur:



#### Forklaring:

Umodne støvknapper (antherer) og mikrosporer (pollenkorn) bliver kultiveret "in vitro" for at inducere udviklingen af flercellede strukturer, specielt af embryoner med et enkelt kromosomsæt (haploide planter). Bliver sådanne haploide embryoner eller planter behandlet med et kromosomfordobende middel f.eks. colchicin, gendannes deres normale kromosomtallet (og dermed deres forplantningsevne). De således producerede planter er rene (homozygote eller indavls-) linier. I enkelte tilfælde optræder spontan kromosomfordobling under "in vitro" kulturen.

Kulturen af mikrosporer er en videreudvikling af støvknækulturen. I stedet for hele støvknapper kultiveres kun mikrosporer.

#### Anvendelse:

Støvknæk- og mikrosporokultur bliver normalt gennemført i starten af et forædlingsprogram. Den anvendes til på kort tid at opnå homozygote planter og benyttes ofte til forædling af byg, korsblomst- og natskyggeplanter.

#### Pros og kontra:

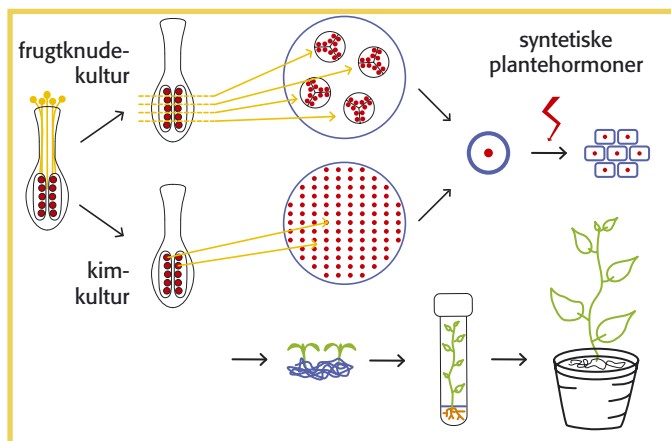
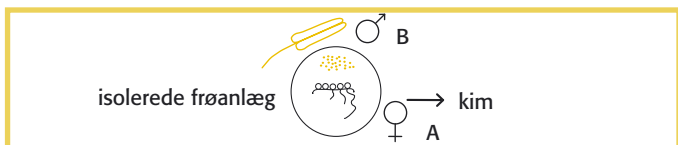
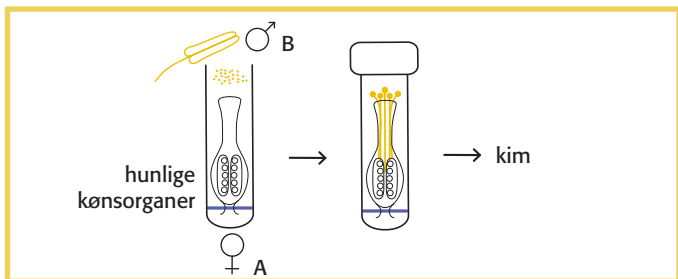
- Pro: - tids- og arbejdsbesparende metode til at frembringe homozygote linier til hybridisering.  
 Kontra: - laboratorieteknik med anvendelse af toksiske substanser.  
 - en generativ proces bliver gjort til en vegetativ proces.

#### Konsekvenser af en afvisning:

- På sortsniveau: nogle bestående sorter af f.eks. byg, rosenkål og paprika ville blive udelukket. Det er ikke sikkert at de "kritiske" sorters forhistorie lader sig spore tilbage.
- På forædlingsniveau: man måtte anvende den mere tidskrævende konventionelle indavlsproces til at få homozygote linier.

#### Alternatives:

Målet med disse teknikker er at forenkle selektionsprocessen og at accelerere produktionen af homozygote linier til hybridisering. Imidlertid bliver planten ikke tilføjet nye egenskaber. Fra et genetisk synspunkt er planter frembragt ved støvknæk- eller mikrosporokultur identiske med indavlslinier. Derfor kan næsten de samme resultater blive opnået gennem traditionel forædling, ved en større tids- og arbejdsindsats.



## "In vitro" bestøvning:



### Forklaring:

Ved krydsninger, f.eks. mellem en sort og dens vilde slægtninge, mislykkes befrugtningen somme tider, enten fordi pollenet ikke vil spire eller fordi det ikke kan trænge helt frem til frøanlægget. Somme tider kan bestøvning og befrugtning gennemføres "in vitro" (i reagensglas). Under sterile laboratoriebetinger bliver frugtknude og frøanlæg udtaget fra planten og befrugtet "in vitro" med pollen. Således kan man overvinde befrugtningsbarrierer mellem støvfang og frøanlæg.

Metoderne med afskåret og podet griffel bliver ligeledes anvendt "in vitro". I stedet for på hele planten udføres de snarere på isolerede frøanlæg, kultiveret i testrør eller i petriskåle.

### Anvendelse:

Teknikken bliver sædvanligvis anvendt i starten af et forædlingsprogram med det formål at introducere en helt bestemt egenskab (f.eks. et resistensgen fra en nær slægtning) i en sort. Således kan man frembringe flere genetiske kombinationer end hidtil muligt. Metoden har imidlertid en lav succesrate, der dog afhænger meget af den benyttede planteart og de kombinationer der gøres. Metoden benyttes mest til forædling af pryplanter.

### Pro og kontra:

- Pro: - øger chancerne for at overvinde krydsningsbarrierer, hvilket sjældent sker i naturen.  
 Kontra: - tvungen overskridelse af naturlige barrierer under kunstige og sterile betingelser.

### Konsekvenser af en afvisning:

- På sortsniveau: nogle sorter af pryplanter ville blive udelukket. Det er ikke sikkert at de "kritiske" sorters forhistorie lader sig spore tilbage.
- På forædlerniveau: en afvisning af denne teknik vil kun betyde mindre begrænsninger, da der findes alternative teknikker.

### Alternativer:

Teknikkerne "afskåret griffel" og "podet griffel" kan erstatte "in vitro" bestøvning.

## Ovarie- og embryokultur:



### Forklaring:

På trods af vellykket befrugtning, kan det forekomme at et frøanlæg ikke udvikler sig til et modent frø. Formålet med ovarie- og embryokultur er, på et tidligt stadium, at overføre frøanlægget til et kunstigt næringssubstrat, så det ikke mere er afhængigt af plantens ressourcer.

Ved ovariekultur bliver hele eller skiveskårne frugtknuder anbragt på substratet. Frøanlæggene svulmer op og bliver på et bestemt stadium fjernet fra frugtknuden og kultiveret separat. På dette tidspunkt er frøanlæggene faktisk blevet til frø, som så kan spire på substratet.

Ved embryokulturen bliver frøanlæggene isoleret fra den befrugtede blomst og bragt til spiring på et næringssubstrat.

### Anvendelse:

Ovariekultur og embryokultur er de hyppigst anvendte teknikker til at indføre resistensgener fra (vilde) nært beslægtede arter. Disse teknikker er blevet anvendt på tomater, paprika, agurker, salat, hvede og mange flere. 80-100% af sorterne stammer fra en eller anden krydsning af forskellige arter. Der kan opnås flere krydsningskombinationer end ved almindelig krydsning, fordi de første trin i frøudviklingen sker på planten og udvikling af kimen afsluttes på substratet.

### Pro og kontra:

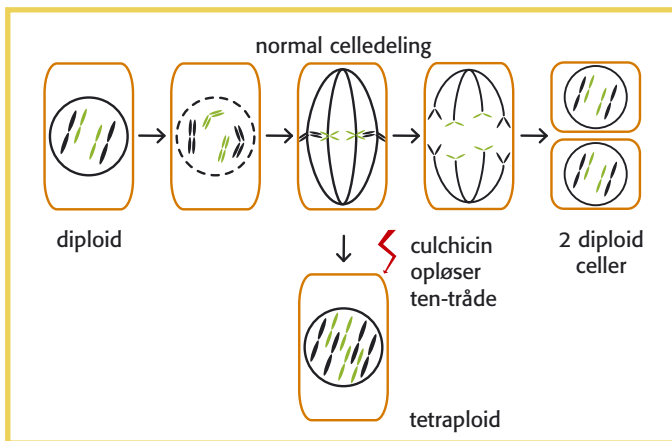
- Pro: - udvider mulighederne for at overvinde naturlige krydsningsbarrierer, hvilket kun meget sjældent forekommer i naturen.  
 Kontra: - fremtvungen udvikling af kimen under kunstige og sterile betingelser, ved anvendelse af syntetiske plantehormoner.

### Konsekvenser af en afvisning:

- På sortsniveau: de fleste moderne tomat- og mange paprika-, salat- og agurkesorter er blevet forædlet ved hjælp af denne type teknikker, og ville blive udelukket fra økologisk jordbrug.
- På forædlerniveau: meget tidskrævende alternativer.

### Alternativer:

I stedet for embryokultur måtte man gennemføre mange flere krydsninger. I stedet for 50 krydsninger måtte man gennemføre mere end 1000 for at opnå nogle få levedygtige frø. Alternativt skulle man selekttere forskellige forældre fra bestående beholdninger eller fra vilde afstamninger.



## Polyploidisering



### Forklaring:

En plantecelle har typisk to kopier af hvert kromosom (den er diploid). En celle er polyploid hvis dens kromosomtallet er mindst det dobbelte (tetraploid). Polyploidi kan optræde spontant eller fremprovokeret ved hjælp af kemikalier (f.eks. colchicin). Under normale forhold sørger tentrådene ved celledeling for at de to halvdele af kromosomsættet fordeles i to nye celler. Colchicin opløser disse tentråde, så kromosomerne forbliver i én celle og fordobles dér (tetraploid celle). Bliver meristem-stykker eller frø behandlet med colchicin, kan de vokse frem til planter med et fordoblet genom.

### Anvendelse:

For at gengive planter, der er fremkommet ved krydsning af arter eller ved haploidisering, deres formeringsevne, er det nogle gange nødvendigt at fordoble kromosomtallet. Imidlertid anvendes polyploidisering også til at opnå planter med dobbelt kromosomtallet (f.eks. kartofler, kløver, fodergræsser, pryplanter). Disse planter er i almindelighed større og mere robuste end planter med normalt kromosomtallet. De kan derfor give større indtjening og have større dekorativ værdi.

### Pro og kontra:

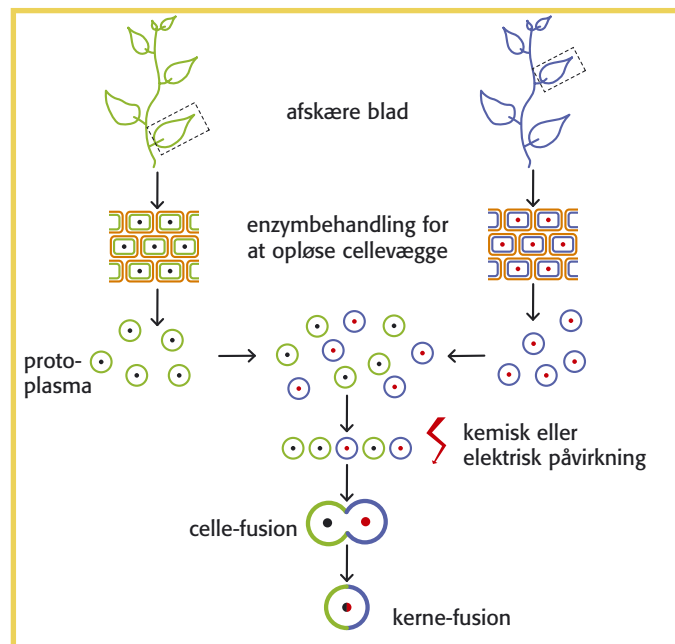
Pro: - nem måde at gengive planter formeringsevnen på, og til at opnå større og mere robuste sorter.  
 Kontra: - anvendelse af en giftig substans (colchicin).

### Konsekvenser af en afvisning:

- På sorts niveau: da det er svært at spore oprindelsen til genomfordoblingen (spontan eller fremtvunget kemisk), er det svært at bedømme polyploide sorter. For nogle afgrøders vedkommende er det imidlertid kendt at forældrelinierne blev behandlet med colchicin (f.eks. kartofler med Pallida-resistens eller tetraploide græsser).
- På forælderniveau: uden polyploidisering bliver det svært for nogle plantearter vedkommende at gengive dem formeringsevnen.

### Alternativer:

Om nødvendigt kan der selekteres for spontane polyploide i de ønskede afgrøder eller pryplanter.



## Protoplast-/cytoplast-fusion:

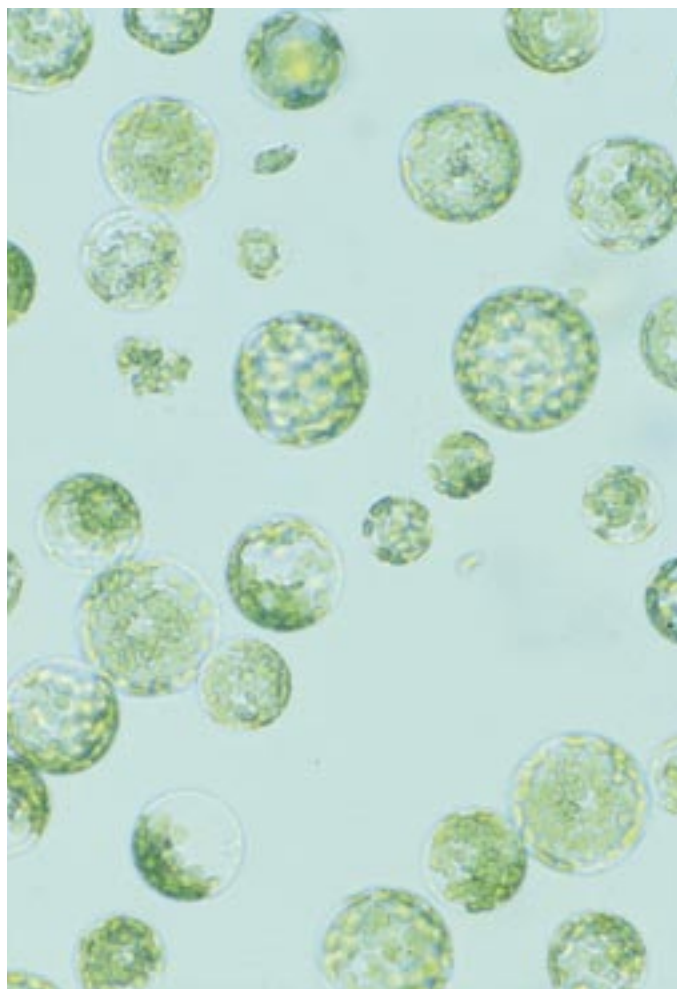
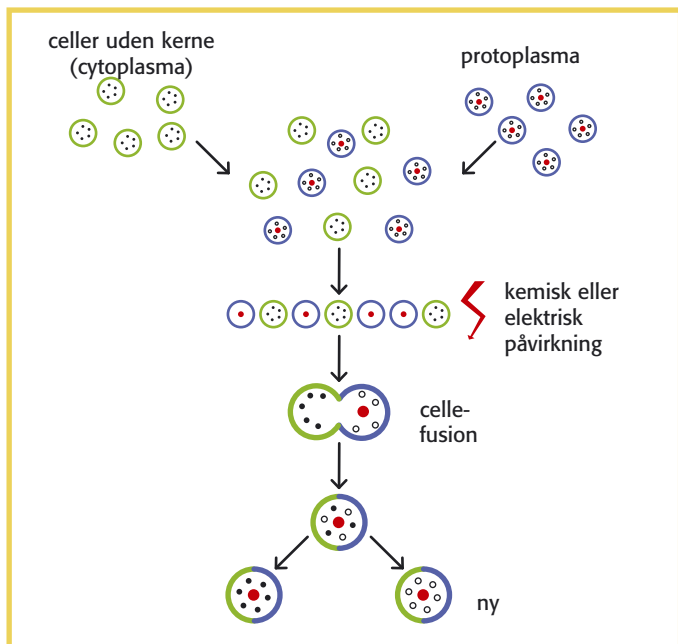


### Forklaring:

Protoplaster er celler uden cellevæg. Disse er fremkommet ved at behandle bladdele med enzymer som opløser cellevæggen. Protoplasterne danner en ny cellevæg og deler sig, således at der dannes et nyt kallus, hvorfra der senere kan opstå en plante. Protoplaster fra forskellige plantearter kan fusioneres med hjælp fra kemiske eller elektriske stimuli (somatisk hybridisering). Under denne fusion bliver organellerne fra begge planter (kloroplaster og mitochondrier) kombineret, medens der ved en krydsning kun overføres kloroplaster og mitochondrier fra den hunlige plante til afkommet. Det resulterende tetraploide fusionsprodukt har artskenetegnene fra begge forældreplanterne. Under regenereringen kan kromosomerne og organellerne fra begge forældre blive blandet, så der opstår mange nye kombinationer. For at undgå udveksling af kromosomer, kan man behandle protoplasterne så cellekernen bliver fjernet eller findelt. Disse såkaldte cytoplaster indeholder organellerne, men ikke kromosomerne fra donorplanten. På denne måde kan man overføre CMS (cytoplasmatisk hanlig sterilitet) til en anden plante. Forældervirksomhederne benytter forskellige udgangsplanter som kilde til CMS og har opnået patenter på anvendelsen af disse ved at beskrive de tilhørende DNA forandringer i mitochondriegenomet.

### Anvendelse:

Ved at forene mødre og fædre organeller frembringes nye kombinationer. Et eksempel er den hanlige sterilitet, som er styret af organellerne (mitochondrierne). Denne metode anvendes for at overføre den naturlige cytoplasmatiske hanlige sterilitet (CMS) fra ræddike til kål og fra solsikke til julesalat. Efter fusionen er selektionen rettet mod de cytoplasmatiske egenskaber. Protoplastmetoden bliver anvendt til at indføre hele kromosomfragmenter, fra en ikke nært beslægtet art, til en sort.



Fotos: Michel Haring, University of Amsterdam

Protoplaster af tobaksplanten.

#### Pro og kontra:

Pro: - hurtig måde at frembringe nye kombinationer og karaktertræk på, som ikke ville have været mulige i naturen.

Kontra: - naturlige grænser overskrides med denne metode, som er nært beslægtet med genmanipulation.

#### Konsekvenser af en afvisning:

- På sortsniveau: kun få moderne kål-, endivie-, porre- og julesalatsorter ville blive udelukket, hvis metoden blev forbudt i økologisk planteforædling.
- På forædlerniveau: protoplastfusion er endnu ikke af nogen særlig betydning. Målene for økologisk forædling kan også nås uden. Cytoplastfusion er imidlertid vigtig for at kunne indføre CMS.

#### Alternativer:

Et hybridforædlingsprogram for kål kunne også bygge på selv-inkompatibilitet (forhindrer selvbestøvning), der forefindes i nogle kålarter.



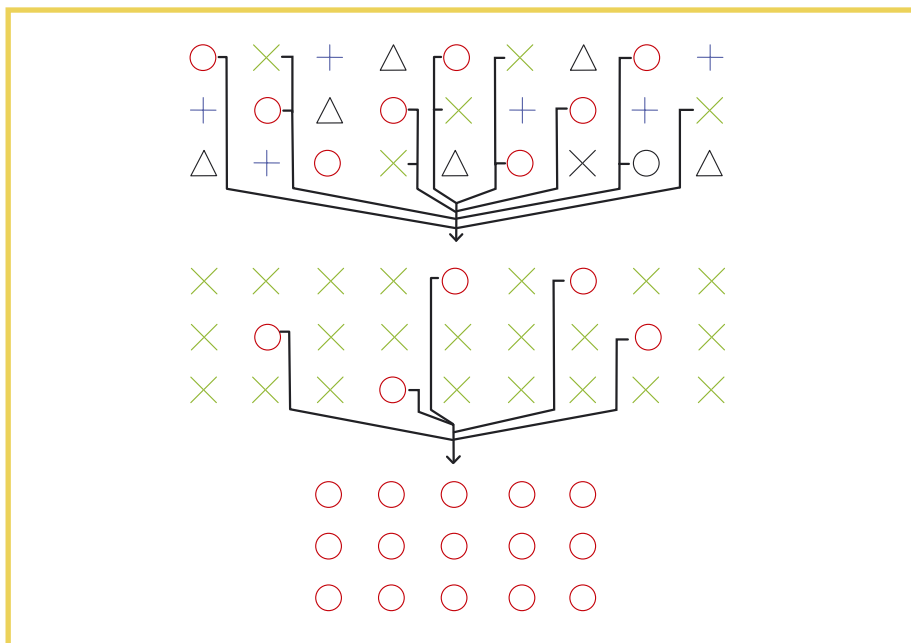
Efter fusionen er protoplaster regenereret (grønne kulturer).

## Teknik til at selektere på plante-/afgrødeniveau



Foto: Louis Bolk Institute

Masseselektion: Salatplanter bliver selekteret efter forskellige kriterier (f.eks. sygdomsresistens) på testbede i marken.



### Masseselektion



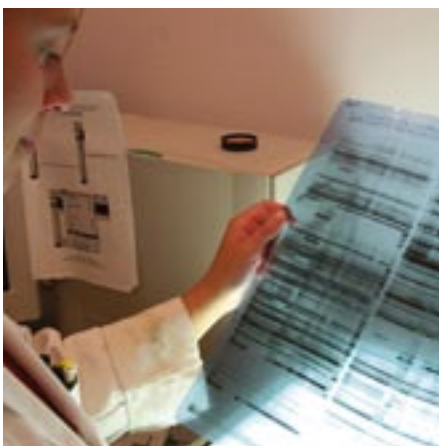
#### Forklaring:

Masseselektion er baseret på evnen til at iagttage ønskede og uønskede kendetegn på planterne i en population. De bedste planter bliver så opformeret sammen (positiv masseselektion), mens planterne med for få af de ønskede kendetegn fjernes (negativ masseselektion). Fordi selektionen er baseret på fænotypen, er denne teknik særligt effektiv for kendetegn der ikke bliver påvirket af omgivelserne. Teknikken egner sig også til kendetegn der ikke nedarves som dominante eller recessive, men snarere som sammensatte kendetegn.

#### Anvendelse:

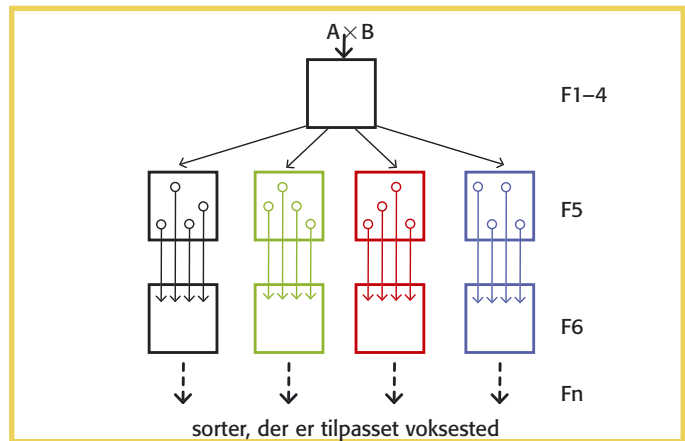
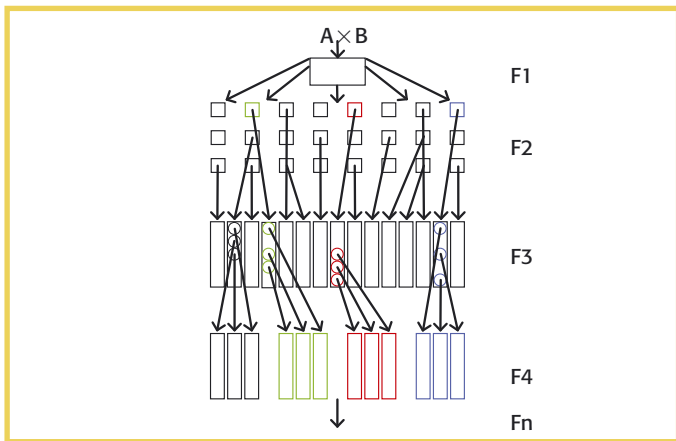
Denne teknik bliver oftest anvendt i starten af et forædlingsprogram, når der ikke er tilgængeligt plante- eller frømateriale nok til gentagne afprøvninger, hvis en frøbeholdning skal forbedres eller hvis der kun er lidt kapital til rådighed for et forædlingsprogram. Imidlertid er forædling alene ved hjælp af masseselektion en langvarig proces. Dette er den selektionsmetode der kommer tættest på den naturlige selektion.

Foto: Michel Haring



Markørunderstøttet selektion: evaluering af et autoradiogram af en gel med DNA-markører. (se side 20).





## Pedigree selektion



### Forklaring:

Med pedigree selektion bliver der med udgangspunkt i enkeltstående planter udviklet elite-plantelinier. Hver selekteret plante bliver høstet separat, og dens afkom det følgende år dyrket som afgrænsede linier. Kun linier med gennemgående gode ydelser bliver opretholdt. Man udvælger de bedste planter fra linien og høster igen deres frø separat til næste runde. Selektion foretages på basis af generelle indtryk (fænotype) og nedarvning af ønskede egenskaber (genotype).

### Anvendelse:

Pedigree metoden kræver visuel selektion mellem individuelle planter i tidlige generationer. Fordi der med denne metode selekteres i hver generation, må dyrkningen af hver generation ske i omgivelser hvor genetiske forskelle vil komme til udtryk (væksthuse og voksesteder uden sæsonbetingede påvirkninger er uegnede). Med pedigree selektion udvikles nye sorter hurtigere end med masseselektion. Metoden er specielt godt egnet til selvbestøvere.

## Voksestedsorienteret selektion

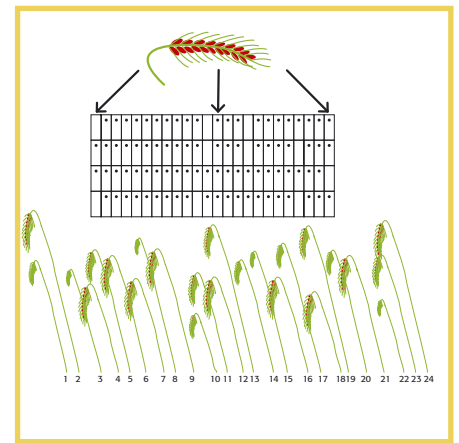
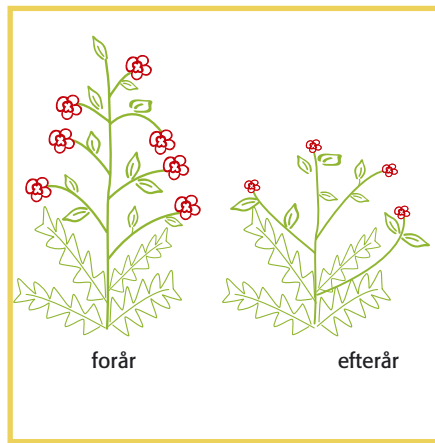
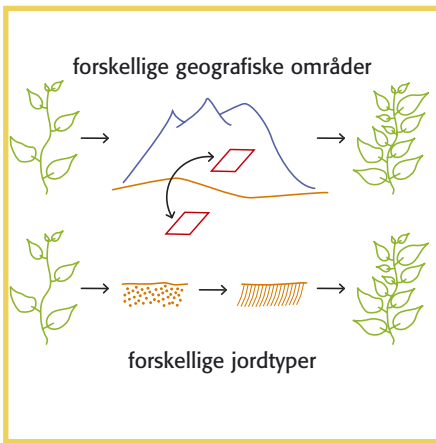


### Forklaring:

Målet for denne metode er selektion af sorter, nogle gange også populationssorter, som er optimalt tilpassede særlige regionale forhold. Også forældrelinierne er selekterede med henblik på det planlagte voksested. Krydsningerne gennemføres et centralt sted, hvor også F1 generationen og de tidlige generationer (F2-F4) udsås. Planterne fra F5 generationen til F<sub>n</sub> afprøves forskellige steder og bliver selekteret med pedigree metoden. Dette er en kombination af naturlig og kunstig selektion. Med andre ord: miljøfaktorer afgør hvilke kendetegn der viser sig og hvilke ikke. Dette kan igen have indflydelse på forædlerens selektion af lovende fænotyper.

### Anvendelse:

Denne fremgangsmåde anvendes især i økologiske forædlingsprogrammer med kornafgrøder, byg, rug og spelt, men er i princippet også egnet til andre afgrøder.



## Skiftende omgivelser



### Forklaring:

At benytte skiftende omgivelser under selektionsprocessen kalder man også "shuttle breeding". Denne metode bruges til at selekere bredt tilpassede genotyper ud fra populationer under opspaltning.

### Anvendelse:

Denne metode kan benyttes til både selvbestøvende og fremmedbestøvende afgrøder.

Nogle biodynamiske forældre anvender også denne teknik til at frembringe variation og til at styrke vækstkrafterne i en sort.

## Skiftende såtidspunkt



### Forklaring:

Skiftende såtidspunkter (tidligt eller sent forår; tidligt eller sent efterår) anvendes sædvanligvis til at selekere for særlige kriterier: mindre følsomhed overfor skiftende daglængder, mindre behov for kuldebehandling til at aktivere blomsterdannelsen, og for stabile udbytte- og kvalitetsegenskaber trods forskellige længder af vækstsæsonen.

### Anvendelse:

Denne metode kan anvendes til selvbestøvende og fremmedbestøvende afgrøder. Nogle biodynamiske forældre vurderer, at metoden forbedrer frøkvaliteten. Den er især brugt til kornafgrøder.

## Aks-bed metoden



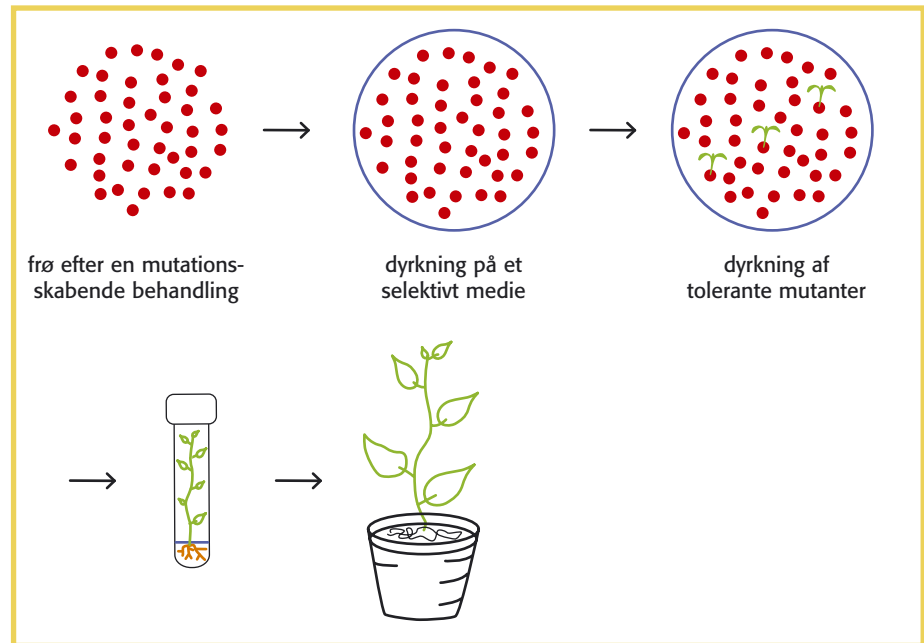
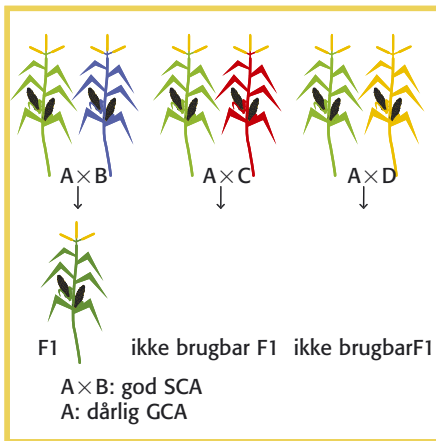
### Forklaring:

Et aks-bed er et såbed, hvor kernerne fra et aks udsås i den rækkefølge, hvori de er vokset på akset. Således afspejler planterne i såbedet (aks-bedet) kvaliteten af det oprindelige aks.

### Anvendelse:

Denne forædlingsmetode blev udviklet af biodynamiske forældre specielt til kornafgrøder. Den kunne imidlertid også anvendes til andre afgrøder.

## Teknik til selektion på celle-/vævsniveau



### Testkrydsninger



#### Forklaring:

Meget lovende forældreplanter bliver krydset med andre kendte genotyper. Afkommet dyrkes hver for sig og bedømmes efter graden af ønskede egenskaber. Målingerne benyttes til at bestemme den generelle kombinationsegnethed (GCA) og den specifikke kombinationsegnethed (SCA). Disse angivelser er nødvendige for at foretage mere effektive krydsninger.

#### Anvendelse:

I forædlingsarbejdet er det ikke tilstrækkeligt blot at selekere de bedste sorter. Det er også nødvendigt at have adgang til forældreplanter med gode krydsningsegenskaber, så flest mulige af de vigtige egenskaber kombineres og nedarves til afkommet. Dette er særlig vigtigt ved planter der formerer sig ukønnet, og ved hybrider. Testkrydsninger kræver omfattende forsøgsudstyr og koster megen tid. De er imidlertid en investering i fremtiden.

### "In vitro" selektion



#### Forklaring:

"In vitro" selektionen benytter somaklonal variation eller mutationsinduktion for at kunne selekere planter med nye egenskaber. For at avle planter med en høj salt-tolerance, bliver selektionen eksempelvis foretaget i saltholdige omgivelser. Det er muligt, enten ved behandling af isolerede planteceller der vokser som vævskultur, eller ved at behandle frø der umiddelbart efter spirer på et selektivt vækstsudstrat. Selektionen for sygdoms- og skadedyrsresistens kan også foregå "in vitro". Patogenet, eller et toksin produceret af det, bliver under kontrollerede forhold tilført planterne.

#### Anvendelse:

Denne teknik bliver anvendt for at afprøve et stort antal planter eller celler på et specifikt kendetegn. Det er en slags for-selektion, hvormed man kan reducere antallet af planter der skal testes i marken. Efter "in vitro" selektionen bliver planterne altid testet på friland, så det viser sig hvordan kendetegnene udtrykker sig i marken. Planter der fremgår af denne selektion kan afsættes direkte som en ny sort (efter "in vitro" opformering), eller man kan inddrage dem som forældre i efterfølgende forædlingsprogrammer.

#### Pro og kontra:

Pro: - en billig måde at foretage en for-selektion på, så antallet af planter der skal prøves i marken reduceres.

Kontra: - de kunstige og sterile betingelser i laboratoriet er ikke tjenlige for en selektion til økologiske forhold.

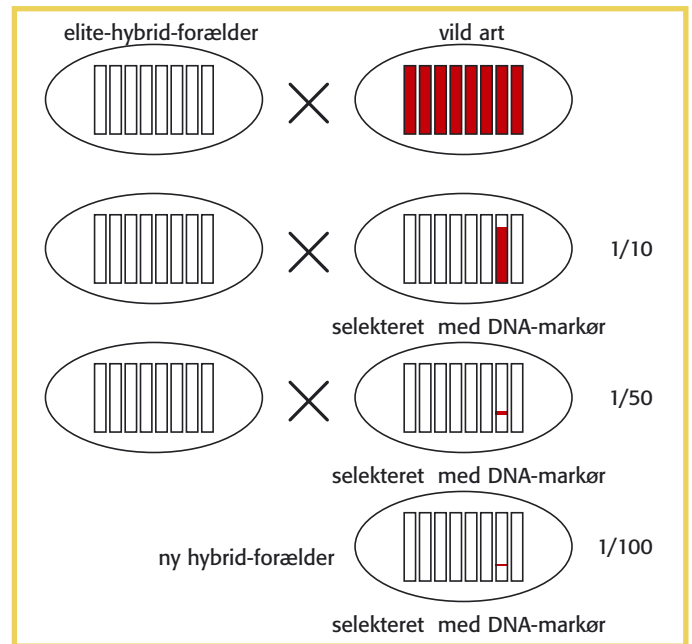
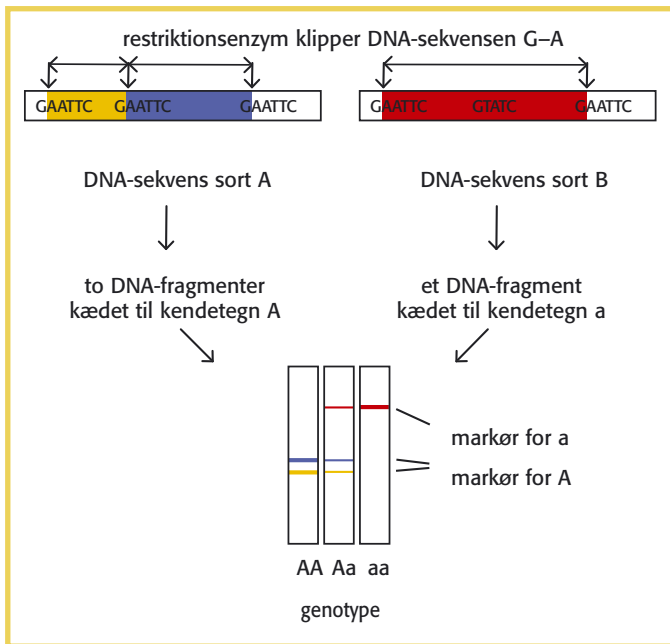
#### Konsekvenser af en afvisning:

- På sorts niveau: enkelte sorter, fra forskellige afgrøder, ville blive udelukket fra økologisk jordbrug hvis denne teknik blev forbudt. "In vitro" selektion kan ikke påvises i det færdige produkt og kan dermed ikke kontrolleres.
- På forædlerniveau: mere tidskrævende selektioner i marken ville blive nødvendig.

#### Alternativer:

En lignende selektion for specifikke kendetegn kan gennemføres i marken med de før nævnte selektionsteknikker, de er dog alle mere tidskrævende. På den anden side hjælper selektion i marken med til at frembringe planter, der er tilpasset et bredere spektrum af miljøfaktorer.

## Teknik til selektion på DNA-niveau



### Selektion understøttet af DNA-markør

#### Forklaring:

Biokemiske og molekylære teknikker bliver ofte anvendt i den direkte selektion. Planternes polymorfisme (forskellige former/udseende) er fastlagt på forskellige niveauer: på det molekylære, det biokemiske og det fænotypiske niveau. På det biokemiske niveau kan nogle planteproteiner (enzymmer) have en lidt forskellig sammensætning i de forskellige sorter. Disse planteproteiner lader sig synliggøre som forskellige båndmønstre (isozymmer). Med genetisk analyse kan der findes en kobling mellem bestemte bånd og en ønsket egenskab (udbytte, smag, resistens). Når denne kobling er etableret, tyder tilstedeværelsen af markøren (isozym-båndet) i en forædlingslinie på, at den dertil koblede egenskab ligeledes er tilstede.

På lignende måde kan man afsløre variation i DNA-sekvensen omkring et eller flere gener, der styrer en bestemt egenskab. Man isolerer noget DNA og synliggør dele af DNA-basesekvensen. Alle disse visualiseringsteknikker kræver at DNA'et behandles med restriktionsenzymmer (klipper i stykker) og radioaktive eller fluorescerende mærkater. Disse enzymer forekommer naturligt i bakterier og kan ekstraheres fra dem. Nu til dags bliver de imidlertid fremstillet med gentekniske metoder, som rekombinante enzymer. Sidstnævnte enzymer er ikke til at skelne fra de ikke rekombinante, naturlige enzymer, og kan isoleres til en brøkdels af prisen.

De resulterende båndmønstre fra de forskellige DNA-fragmenter bliver anvendt til at finde frem til de bånd der er koblet til de ønskede egenskaber i en plante. Dette værktøj nødvendiggør ikke indkorporering af transgent DNA i planten, men analyserer individuelle planters DNA, for at for-selekttere for tilstedeværelsen af beskrevne kendetegn.

#### Anvendelse:

Molekylære markører kan benyttes til et bestemt DNA-segment, som er koblet til en interessant egenskab. Denne egenskab kan være afhængig af et eller flere gener. Målet med

markørunderstøttet forædling er den målrettede og hurtigere gennemførte selektion for bestemte kendetegn. I fremtiden kan store populationer blive afprøvet for tilstedeværelsen af en kendt markør (kendetegn), før de går videre til afprøvning på friland. En forudsætning for den markørunderstøttede selektion er at man finder en markør, som er tæt koblet til det ønskede kendetegn. Dette kræver omfattende gen-kortlægningsprogrammer, før denne teknik kan indlemmes i forædlingsprogrammer. Ofte lader forædlings-firmaerne de molekylære markører, de har udviklet, patentere, for at hindre konkurrenter i at udvikle lignende kendetegn. Markørunderstøttet selektion bliver i stigende grad indlemmet i forædlingsprogrammer for alle afgrøder.

#### Pro og kontra:

- Pro:
- effektiv og mindre tidskrævende selektion.
  - tillader pyramisering (akkumulering) af resistensgener for at opnå bedre og mere omfattende resistens.
- Kontra:
- reducerer planten til en række DNA-sekvenser.
  - anvendelse af giftige substanser.

#### Konsekvenser af en afvisning:

- På sorts-niveau: i øjeblikket anvender moderne planteforædling dette værktøj til selektion, med det formål at gøre forædling billigere og mindre tidskrævende. Alligevel er der i dag kun få sorter på markedet, som er selekteret med denne teknik.
- På forædlings-niveau: anvendelsen af markørunderstøttet selektion kan ikke påvises i produktet og kan således ikke kontrolleres.

#### Alternativer:

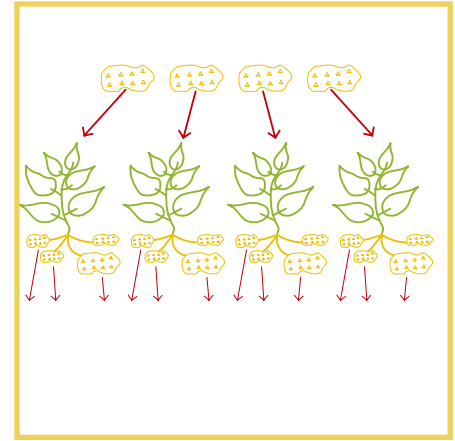
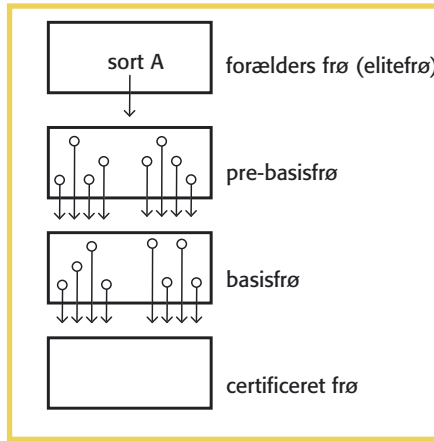
Så snart der er fundet markører for vigtige kendetegn, vil denne teknik gøre selektionen mere effektiv og mindre tidskrævende. Den markørunderstøttede selektion kan dog erstattes med de fleste andre selektionsteknikker, hvis ikke finansielle eller infrastrukturelle forhold taler imod.

## Teknik til opformering på plante- / populationsniveau

Foto: Markus Kellerhals, FAW



Opformering af æble-frøplanter



### Opformering af planter med kønnet forering



#### Forklaring:

Hvis man ud fra en ny genetisk variation har selekteret sig frem til en ny sort, skal den vedligeholdes og opformeres. Ved selv- og fremmedbestøvere isoleres de selekterede genotyper under blomstringen. En positiv masseselektion sørger for at elite-forældrelinierne er af højeste kvalitet og overholder alle krav til en sort. Ikke alle sygdomme overføres fra forældreplanter til frø, der findes dog frøbårne sygdomme, som Alternaria ved gulerødder og Stinkbrand ved hvede, der kræver særlig opmærksomhed. De fleste frø kan opbevares i lang tid.

#### Anvendelse:

Bliver benyttet ved alle planter med frøformering.

### Opformering af planter med vegetativ forplantning



#### Forklaring:

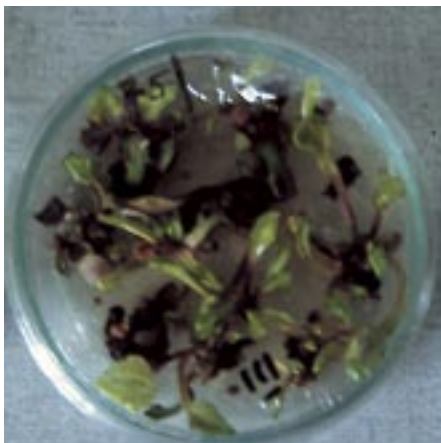
For planter med ukønnet forplantning som roer, kartofler, knolde eller podede planter, er det nødvendigt at drage ekstra omsorg for at frø- eller plantematerialets sundhedstilstand ikke forværres. Levende plantemateriale lader sig sjældent lagre, derfor bliver det holdt i en kontinuerlig opformeringsproces. Fordelen ved den vegetative forering består i, at afkommets genotype er identisk med forældrens, ligegyldigt om den er heterozygot eller homozygot.

#### Anvendelse:

Bliver benyttet ved alle planter med vegetativ forplantning.

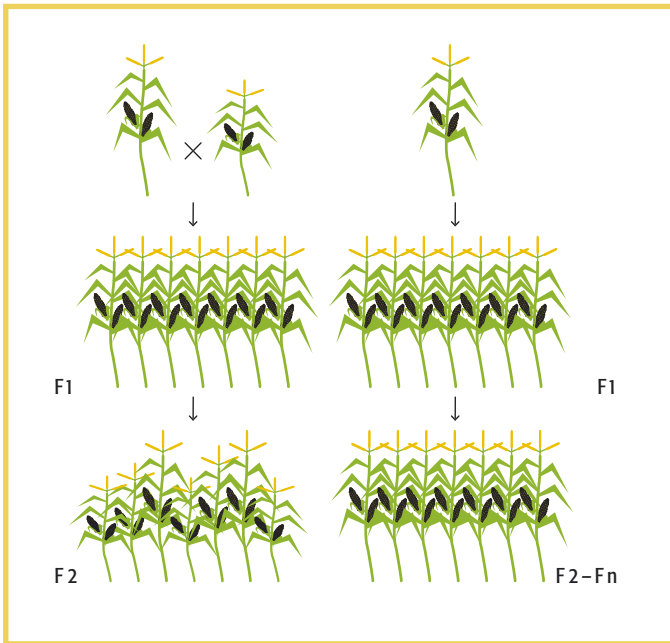


"In vitro" opformering af sukkerroer

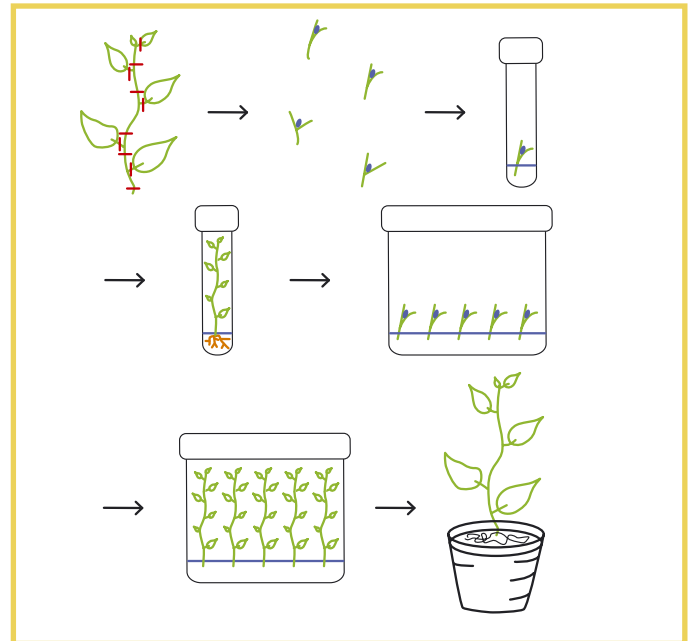


Meristemkultur af sukkerroer i petriskåle

Fotos: Gumilla Lissek-Wolf



## Teknik til multiplikation på celle-/vævsniveau



### Apomiksis

#### Forklaring:

Nogle arter kan formere sig ukønnet ved frø. Dette fænomen kaldes apomiksis. Under frødannelsen bliver den for den kønnede forplantning essentielle meiose enten undertrykket eller omgået, så kimen bliver genetisk identisk med moderplanten. Der findes obligat (nødvendigt) apomiktiske planter, hvis frø alle indeholder apomiktiske kim, og der findes fakultativt (valgfrit) apomiktiske planter, hvis frø både kan indeholde kønnede og apomiktiske kim.

#### Anvendelse:

Apomiksis forekommer i kulturplanter (Eng-Rapgræs, appelsin, tropiske planter) og i vilde planter, og har vakt forædlerens interesse fordi den forener fordele fra frøopformering – sundhed og bevaring af kvalitet – og den identiske forplantning af den mødrene genotype. Den apomiktiske opformering bliver anset som en meget lovende metode til at bevare sorter og til at forankre hybridernes heterosis-effekt. Denne teknik anvendes endnu kun sjældent, men kunne i nær fremtid, ved hjælp af gen-teknik, finde anvendelse i et stort antal arter/afgrøder.

### "In vitro" opformering

#### Forklaring:

Afhængig af planteart, bliver dele af planten – for det meste en del af stængelen med en sideknop, eller dele af et blad, eller et løgskæl – kultiveret "in vitro". Disse plantedele vokser frem til skud, der igen kan deles og opformeres. Denne behandling gentages indtil et tilstrækkeligt antal planter er opnået. Når roddannelsen er tilstrækkeligt fremskreden, bliver planterne afhærdet og efterfølgende sat ud i væksthuse og/eller på fri-land.

#### Anvendelse:

Denne metode bliver ofte indsat for hurtigt at skabe nok basismateriale af en ny sort til at komme ind på markedet med den. Derudover bliver denne teknik i stigende grad anvendt til at opretholde forældre-linier til hybrider.

#### Pro og kontra:

Pro: - hurtig og billig metode til at opformere store mængder planter.

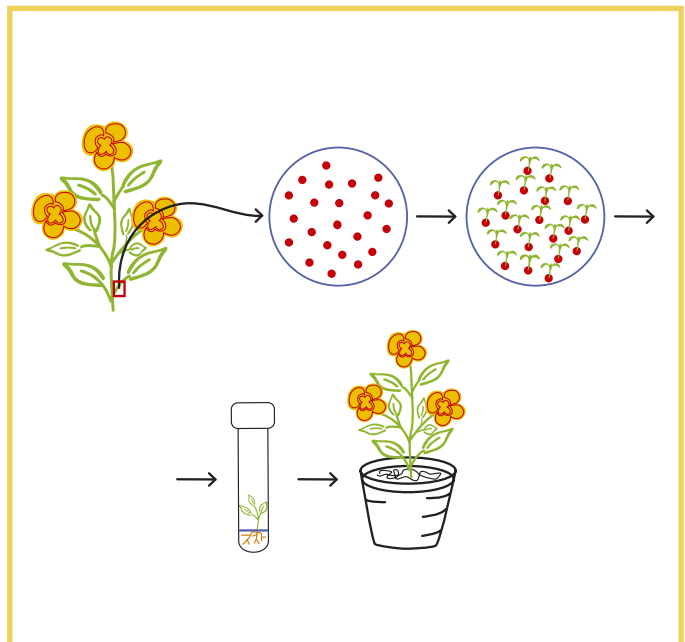
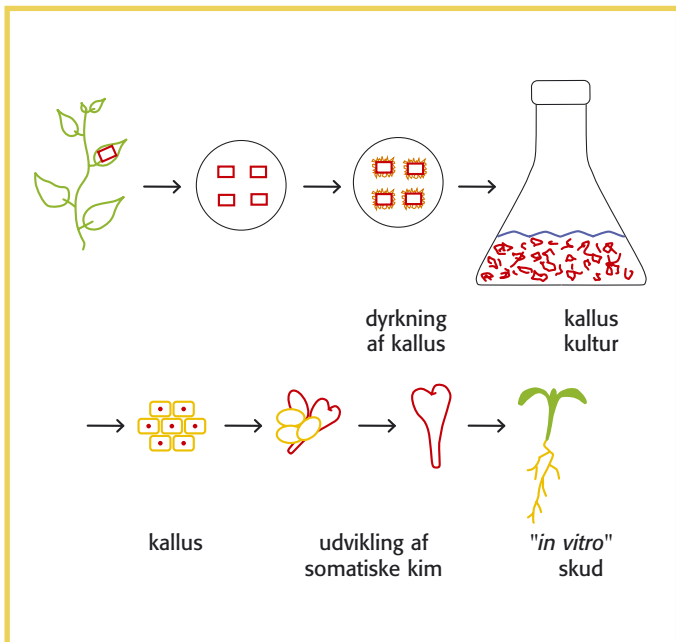
Kontra: - de sterile og kunstige betingelser kan medføre selektion /tilpasning til laboratorieforhold.

#### Konsekvenser af en afvisning:

- På sorts niveau: nogle porre hybrider og blomster til afskæring ville blive udelukket.
- På forædlingsniveau: man måtte inddrage dyrere og mere tidskrævende teknikker.

#### Alternativer:

Til de fleste kulturer kendes andre ret effektive opformerings-teknikker.



## Somatisk kimdyrkning

### Forklaring:

Somatiske kim kan vokse frem af isoleret materiale fra moderplanten. I nogle tilfælde gennemgår de i forvejen en kallusfase. Opformering af kallus foregår for det meste i et flydende medium, hvorefter det homogeniseres og således danner en celled suspension. Disse celler, isoleret fra moderplanten, fra kallus eller fra celled suspensionen, tilsættes plantehormoner for at stimulere cellernes udvikling til somatiske kim. Ofte er disse kim i stand til at danne sekundære kim og således bidrage til en kontinuerlig opformeringsproces.

### Anvendelse:

Denne metode har det største opformeringspotentiale, og er, i sammenligning med de andre "in vitro" opformerings teknikker, mindre arbejdskrævende. Denne metode lader sig gennemføre i stor skala og endda som automatiseret produktion.

### Pro og kontra:

Pro: - meget billig og hurtig måde at opformere store mængder planter på.

Kontra: - de sterile og kunstige betingelser kan medføre selektion/tilpasning til laboratorieforhold.  
- risiko for spontane mutationer.

### Konsekvenser af en afvisning:

- På sorts niveau: mange blomster til afskæring ville blive udelukket.
- På forædlingsniveau: man måtte inddrage dyrere og mere tidskrævende teknikker.

### Alternativer:

Til de fleste kulturer kendes andre ret effektive opformerings teknikker.

## Meristemkultur

### Forklaring:

I meristemkultur bliver dele af meristemet isoleret og kultiveret på et substrat. De resulterende planter bliver ved hjælp af ELISA-metoden testet for virus. Ikke inficerede planter bliver efterfølgende opformeret med de tidligere beskrevne metoder.

### Anvendelse:

Meristemkulturen er ofte den eneste måde til at frembringe virusfrit plantemateriale (f.eks. bær, blomsterløg, kartofler). Specielt ved vegetativt formerede planter kan virus være sejlivet, fordi de bliver overført til det følgende års plantemateriale (f.eks. hvidløg). Virus udvikler og udbreder sig i planten, men de kan ikke følge med den hurtige celledeling i meristemet. Disse metoder anvendes til opformering af grundstammer, bærplanter, blomsterløg og grøntsager.

### Pro og kontra:

Pro: - bedste og ofte eneste måde at opnå virusfrie planter på.

Kontra: - anvendelse af syntetiske plantehormoner.

### Konsekvenser af en afvisning:

- På sorts niveau: de fleste grundstammer til frugttræer, udplantningsplanter af bærplanter, og en del grøntsags sorter ville blive udelukket.
- På forædlingsniveau: man måtte udvikle nye teknikker.

### Alternativer:

Hvis man kun benyttede de yngste plantedele til opformering, burde det også med standardteknikker være muligt med en virusfri opformering.

# Vurdering af hvilke metoder der er passende til forædling og fremavl i økologisk jordbrug

Hvis man skal udvikle retningslinier for økologisk forædling og fremavl må man vurdere, om de anvendte teknikker er passende for økologisk jordbrug.

En debat på nationalt og internationalt niveau har vist, at der er brug for at opstille kriterier for en sådan vurdering (Wiethaler et al., 2000<sup>3</sup>). Kriterierne bør tage udgangspunkt i de grundlæggende principper for økologisk jordbrug og sættes i relation til planteforædling (Lammerts van Bueren et al., 1999<sup>4</sup>). Forfatterne af dette hæfte har som udgangspunkt brugt tre grundlæggende principper:

- sluttede økologiske produktionskredsløb
- naturlig selvregulering
- biologisk mangfoldighed

En ramme for økologisk frøavl kan være at tage udgangspunkt i planten som den mindste levende enhed.

Det medfører følgende kriterier:

- planterne har en naturlig reproduktionsevne
- de kan tilpasse sig økologiske vækstforhold
- de har en genetisk mangfoldighed og er forædlet med respekt for naturlige arters autenticitet og karakteristika

Da frøavl også har socio-økonomiske konsekvenser, kan følgende principper gælde for det socio-økonomiske område:

- tæt dialog mellem landmænd, frøavlere, forhandlere og forbrugere for at sikre en frøavl, der bygger på forståelse og samarbejde
- retningslinier for avlsmetoder skal være i overensstemmelse med de økologiske principper
- avlen skal fremme genetisk og kulturel mangfoldighed. Derfor skal planter fremavles, så deres gener kan anvendes i fremtidige avl. Det indebærer en fri udveksling af sorter mellem forædlere. Frøene skal derfor være frugtbare, og patenterede frø skal modvirkes.

På grundlag af disse principper er konklusionen, at de mest passende forædlingsteknikker er dem, der forholder sig til hele planten og afgrøden. Disse passer bedst til et dynamisk økologisk forædlingsarbejde.

De nævnte principper fører til forædlingsmetoder, hvor hele processen foregår under økologiske (jord)dyrkningsforhold.

Principperne indebærer et etisk dilemma: medfører de, at planten er den mindste levende enhed, man kan arbejde med i

økologiske forædlingsprogrammer? Eller bør plantecellen være den mindste levende enhed, fordi der kan udvikles en plante igen ud fra cellen? Eller ønsker vi at reducere livet til at være den komplekse arvmasse, DNA'et ?

**Tabel 2 (side 25): Vurdering af forædlings- og formerings-teknikker i forhold til en etisk holdning til, om planten, cellen eller DNA'et er den mindste levende enhed.**

Hvis planten er den mindste levende enhed, vil det betyde udfasning af brugen af frø til

- nogle få sorter af korn
- mange grønsagssorter (af f.eks. af tomater, peberfrugt, salat, kål)
- nogle sorter af frugt og vindruer
- nogle sorter af foderafgrøder
- mange sorter af pryddplanter

Hvis cellen er den mindste levende enhed vil det betyde udfasning af brugen af frø til

- nogle få sorter af grønsager, f.eks. kål
- for fremtiden: nogle kartoffel- og majs sorter

Hvis DNA er den mindste levende enhed vil det ikke betyde udfasning af frø fra det nuværende sortsudvalg.

Hvis der bliver lavet restriktioner for nogle af teknikkerne, skal det besluttes

- om anvendelsen af alle sorter, der er fremstillet med disse teknikker (incl. forædlingsmateriale) skal forbydes, eller
- om restriktionerne kun gælder for fremtidige kultiverings- og forædlingsprogrammer.

Det er vigtigt, at der ved alle reguleringer skal kunne skelne tydeligt mellem tilladte og ikke-tilladte teknikker, og at forskellene kan kontrolleres.

En yderligere mulighed for at fremme "kvaliteten" af den økologiske planteforædling kunne være at certificere de forædlere, der anvender definerede økologiske forædlingsmetoder.

Den økologiske bevægelse har brug for at finde en klar og brugbar vej til at definere rammer for økologisk forædling. Det er vigtigt for at udvikle og fremme produktionen af planter, der kan bidrage til et sundt økologisk jordbrug.

3 Wiethaler, C., Oppermann, R. and Wyss, E. (2000) Organic plant breeding and biodiversity of cultural plants. Report on the international conferences. Naturschutzbund Deutschland and Research Institute of Organic Agriculture. 115 pp.

4 Lammerts van Bueren, E.T., Hulscher, M., Haring, M., Jorgerden, J., van Mansvelt, J.D., den Nijs, A.P.M. and Ruivenkamp, G.T.P. (1999) Sustainable organic plant breeding. Final report: a vision, choices, consequences and steps. Louis Bolk Institute, Driebergen. 59 pp.



**Tabel 2: Vurdering af avl- og multiplikationsmetoder i forhold til, om man anser planten, cellen eller DNA for at være den mindste levende enhed**

<b>Teknikker til at frembringe variation</b>	Mindste levende enhed		
	Plante	Celle	DNA
<i>Kombinationsdyrkning</i> <i>Krydse sorter, Gentakende tilbagekrydsninger</i> <i>Afskære griffel, Varmebehandling af griffen</i>	↑	↑	↑
<i>F1-hybridisering (krydsning af indavlslinier)</i>	↗	↑	↑
<i>Frugtknude- og kimkultur, In vitro-befrugtning, Støvknep- og mikrosporekultur</i>	↘	↑	↑
<i>Polyploid-behandling, Somaklonal variation</i>	↘	↗	↑
<i>Hybridisering gennem CMS*, Bestrålet mentor-pollen teknik</i>	↓	↗	↑
<i>Protoplasma-fusion (cellesammensmeltning)</i>	↓	↘	↑
<i>Gensplejsning</i>	↓	↓	↓

<b>Selektions-teknikker</b>	Plante	Celle	DNA
<i>Masse-selektion, Pedigree-selektion, Ændringer i vækstmiljøet,</i> <i>Ændringer i såtidspunkt, Såning i aks-bed,</i> <i>Test-krydsning</i>	↑	↑	↑
<i>In vitro selektion</i>	↓	↗	↑
<i>Selektion understøttes af DNA-markør</i>	↓	↗	↑

<b>Multiplikations-teknikker</b>	Plante	Celle	DNA
<i>Dyrkning af hele planter</i>	↑	↑	↑
<i>Vegetativ multiplikation</i>	↑	↑	↑
<i>Apomixis</i>	↘	↑	↑
<i>Meristem-kultur</i>	↘	↗	↑
<i>In vitro multiplikation, Somatisk kimdyrkning</i>	↓	↗	↑

↑ = intet problem, ↗ = ok, ↘ = ikke passende, men pt. tilladt ↓ = ikke passende.

\*Cytoplasmatiske Mandlig Sterilitet

# Ordforklaring

Allel:	det ene af et par eller en serie af gener, der indtager en bestemt plads på et bestemt kromosom. Den form et gen kan optræde på i en plante.	Homozygot:	en organisme er homozygot, hvis den bærer de samme alleler på begge sine homologe kromosomer.
Cytoplasma:	det indre af en plantecelle omfatter mange delelementer: cellekerne, mitochondrier, kloroplaster, vakuoler og mange vesikulære strukturer. Cellevæsken mellem disse elementer er cytoplasmaet.	Isozym:	alle proteiner med lignende enzymatisk aktivitet.
DNA:	DNA (deoxyribonucleic acid), deoxyribonukleinsyre er en dobbeltspiral af nukleotider, som bærer cellens genetiske information. Den har kodet information til produktion af proteiner og er i stand til at duplikere sig selv.	Kallus:	et kallus er et hurtigt voksende væv, bestående af udifferentierede celler.
Enzymer:	enzymer er proteiner som udfører biokemiske reaktioner (eller virker som katalysatorer) inde i cellen.	Kloroplaster:	grønne organeller i planteceller, som ved hjælp af solenergi binder kuldioxid (fotosyntese). Leverer energibærere, som sukker og ATP, til planten. Kloroplasterne har deres egen DNA, som hovedsagligt nedrives fra moderen. Alligevel er de afhængige af det genetiske materiale lagret i cellekernen.
Fremmedbestøvning:	overførsel af pollen fra en plante til blomsten på en anden plante.	Kromosom:	et kromosom er en kontinuert dobbeltstregnet DNA-tråd, der indeholder mange gener. De fleste flercellede organismer har adskillige kromosomer, der tilsammen udgør genomet. Organismer med seksuel forplantning har to kopier af hvert kromosom, en fra hver forældredel.
Gel elektroforese:	DNA bliver opdelt af restriktionsenzymer (molekylær saks) og efterfølgende påført en agar-gel. DNA-fragmenterne bevæger sig gennem et elektrisk spændingsfelt, som gelen udsættes for. Længden af DNA-fragmenterne bestemmer hastigheden af bevægelsen gennem gelen. Det resulterende båndmønster af langsomt eller hurtigt vandrende DNA-fragmenter benyttes til at identificere de DNA-bånd der er kædet sammen med de ønskede egenskaber.	Kultivar:	sammenrækning af <u>kultiveret</u> <u>varietet</u> . En underart eller varietet, der begge er botaniske enheder under artsniveau, og som er opstået ved forædlingsarbejde.
Fænotype:	fænotypen er kombinationen af en organismes ydre kendetegn. Disse genspejler genotypen, den genetiske sammensætning af en organisme. Fænotypen resulterer af udveksling mellem genotypen og omgivelserne.	Markør:	et DNA-fragment, som kan være forskelligt i størrelse og sekvens. En markør kan benyttes til at differentiere genetisk materiale fra forskellige sorter og arter, der anvendes i krydsninger.
Gen:	et gen er en arvelig enhed, som kan tilskrives en bestemt DNA-sekvens, og som indtager en bestemt position (lokus) i genomet. Et gen koder for et protein eller RNA, som er ansvarlig for (en del af ) et særligt karaktertræk.	Mitochondrier:	mitochondrier er de organeller i en celle, hvor den aerobe forbrænding sker. De har deres egen DNA, som hovedsagligt nedrives fra moderen. Alligevel er de afhængige af det genetiske materiale lagret i cellekernen.
Genotype:	et individs genotype er dets genetiske sammensætning, der er bestemt ved allelerne på dets kromosomer.	Polyploidi:	tilstedeværelsen af et mangedoblet kromosomsæt i en celle.
Heterosis:	en effekt, som hyppigt optræder efter krydsning af to forskellige og fjernt beslægtede planter af den samme art. Afkommet er kraftigere og ofte mere resistente overfor sygdomme.	Protein:	afkodningsprodukt fra et gen. Et protein kan visualiseres som en aminosyre kæde, der er ordnet efter den genetiske kode i et bestemt gen.
Heterozygot:	en organisme er heterozygot, hvis den bærer to forskellige alleler på sine homologe kromosomer.	Protoplast:	isolerede protoplaster er "nøgne" celler, hvis cellevægge er blevet fjernet ved hjælp af mekaniske eller enzymatiske processer.
		RNA:	RNA (ribonucleic acid) ribonukleinsyre er det budbringermolekyle, som bliver transskriberet fra et gen og siden oversat til et protein.
		Selvbestøvning:	overførsel af pollen fra støvbærerne til griflen på den samme plante, hvilket fører til indavl i en forædlingslinie.



