

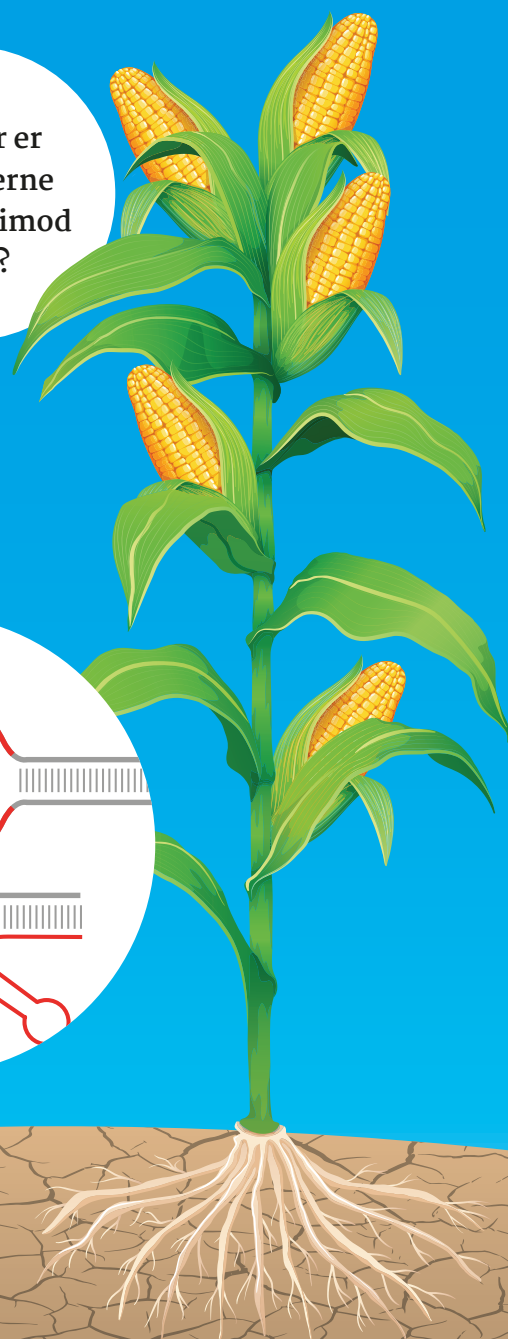
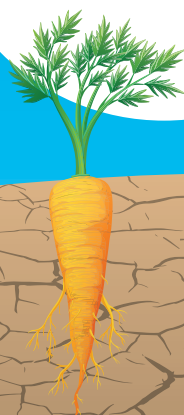
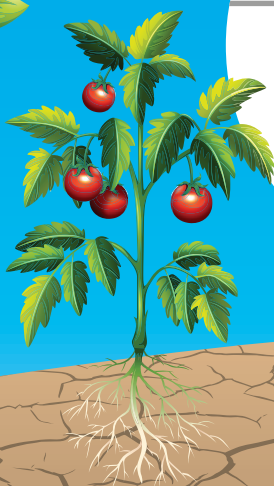
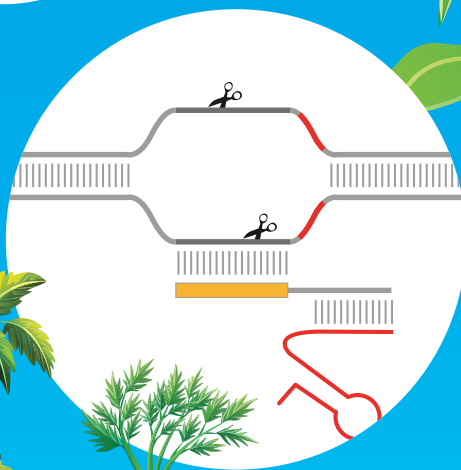
Et undervisningshæfte fra Det Ethiske Råd

# GMO, KLIMA OG ETIK

Hvordan bruges  
**CRISPR-teknikken**  
til at forædle  
fødevarer?

Kan GMO være  
med til at gøre  
landbruget mere  
**klimavenligt**?

Hvorfor er  
europæerne  
så meget imod  
**GMO**?



[www.etikoglivetgym.dk](http://www.etikoglivetgym.dk)



DET  
ETISKE  
RÅD

# Indhold

1. Genmodifikation og klimaforandringer / s.3
2. Sådan kan klimavenlige planter udvikles ved hjælp af CRISPR-Cas9 / s.13
3. Interview med genetiker, Thomas Didion / s.27
4. Etikinterview / s.31
5. Findes der naturlige fødevarer? / s.37

**LÆRERVEJLEDNINGER** og forslag til undervisningsforløb kan hentes på [www.etiskraad.dk/gmo/laerer](http://www.etiskraad.dk/gmo/laerer)

Vejledninger og undervisningsplaner findes for fagene:

- biologi
- bioteknologi
- filosofi
- religion
- samfundsfag
- naturgeografi

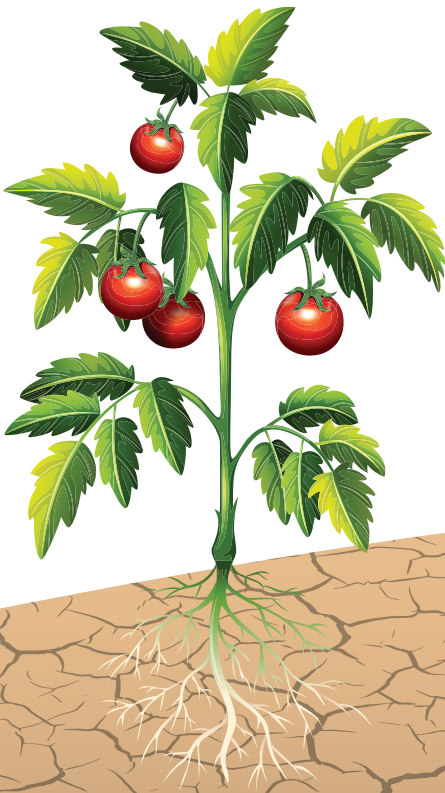


# 1. Genmodifikation og klimaforandringer

Forbrugerne i Danmark og i resten af Europa vil ikke have genetisk modificerede madvarer; sådan har det været lige siden de første GMO'er blev markedsført i 1994. Men en del har ændret sig; med CRISPR-teknologien er det muligt at lave mindre og meget præcise ændringer i planterne. Samtidig vil klimaforandringer og befolkningstilvækst stille krav til landbruget om at producere mere på et mindre areal og udlede færre drivhusgasser. Kan GMO være en del af løsningen ved at frembringe "klimavenlige" planter? Og bør vi bruge teknologien til det, hvis vi kan?

## HER KAN DU LÆSE OM...

- Hvad er GMO? Traditionelle teknikker og CRISPR
- Hvorfor er europæerne så meget imod GMO?
- Hvorfor vil bekæmpelse af klimaforandringerne kræve total omlægning af landbruget?
- Kan GMO være med til gøre landbruget mere klimatilpasset?
- Eller er det under alle omstændigheder etisk problematisk at anvende GMO?



## 1.1 Hvorfor er der behov for at ændre hurtigt på de planter, vi spiser?

### 1.1.1 Klimaforandringer

I oktober 2018 kom the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, med en ny rapport.<sup>1</sup> Den vurderede, hvad det ville kræve at begrænse den globale opvarmning til de 1.5°C over det præindustrielle niveau; det mål, som verdens ledere satte i Paris i 2015. Svaret var, at det stadig kunne nås, men at det ville blandt andet kræve hidtil usete omlægninger i anvendelsen af klodens arealer, som vil betyde, at der bliver meget mindre areal til landbrugsproduktionen. Mennesker har siden industrialiseringen udledt så store mængder CO<sub>2</sub>, er temperaturen allerede nu steget med 1°C. Det er årsagen til de forandringer, vi allerede i dag ser i form af mere ekstremt vejr, stigende havvandstande, smeltende is i de arktiske områder m.m. Hvis temperaturstigningerne ikke skal accelerere, vil det blive nødvendigt ikke bare at nedbringe udledningerne af drivhusgasser fremover, men også at fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.

### 1.1.2 Træplantning for at opsuge CO<sub>2</sub>

Da træer og andre planter kan opsuge CO<sub>2</sub>, kan CO<sub>2</sub> blandt andet fjernes ved at plante skov i stor skala. Hvis temperaturstigningerne skal holdes på 1.5°C over det præindustrielle niveau, vil det kræve plantning af skovarealer på størrelse med hele USA's areal (10 mio. km<sup>2</sup>), og plantning af energiafgrøder svarende til Australiens areal (op til 7 mio. km<sup>2</sup>) inden

## IPCC's rapport om global opvarmning på max 1,5°C

Efter vedtagelsen af Parisaftalen i 2015 bad landene The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) om at bruge tiden frem til 2018 på at udarbejde en rapport om mulighederne for at nå målet om at holde den globale opvarmning på 1.5°C over det præindustrielle niveau.

De 91 eksperter bag rapporten slår fast, at skal målet nås, skal netto-udledningen af CO<sub>2</sub> være 0 i 2050. Men det er ikke tilstrækkeligt; derudover skal CO<sub>2</sub> fjernes fra atmosfæren. Den mest effektive metode er her at plante skov på meget store arealer

2050. Desuden skal træ fra skoven udnyttes i kraftværker, som samler CO<sub>2</sub> op fra skorstenen og pumper det ned i et underjordisk CO<sub>2</sub>-lager. Det globale areal til dyrkning af fødevarer vil derfor skulle reduceres tilsvarende. Det er en enorm udfordring, som kun bliver større af, at verdens befolkning ifølge FN vil vokse fra 7,5 mia. i 2017 til 11,2 mia. i 2100.<sup>2</sup> Der skal altså skaffes mad til en hastigt voksende global befolkning samtidig med, at der sker en dramatisk reduktion af landbrugsarealet. Det skal ske samtidig med, at klimaforandringerne mange steder fører til tørke eller oversvømmelse med havvand, så jorden ikke længere kan dyrkes.

## Parisaftalen 2015

På COP21 i Paris i december 2015 indgik de 196 medlemslande i FN's klimakonvention (UNFCCC) en juridisk bindende klimaafale – Parisaftalen.

Den indebærer enighed om en langsigtet målsætning om at begrænse den globale temperaturstigning til under to grader – og om at arbejde for at begrænse temperaturstigningen til 1.5°C over det præindustrielle niveau



1 IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers, s 22

2 UN. 2017. World population prospects. 2017 revision

## FN's verdensmål for bæredygtig udvikling

De 17 verdensmål blev vedtaget af verdens stats- og regeringsledere på FN topmødet i New York den 25. september 2015. Diskussionen om GMO er relevant for opfyldelsen af i hvert fald fire af målene:



**Mål 2** Stop sult



**Mål 12** Ansvarligt forbrug og produktion



**Mål 13** Handle hurtigt for at bekæmpe klimaforandringer og deres konsekvenser



**Mål 15** Beskytte, genoprette og støtte bæredygtig brug af økosystemer på land, bekæmpe ørkendannelse, standse udpining af jorden og tab af biodiversitet

### 1.1.3 Producere mere på et mindre landbrugsareal

Udfordringen kan kun nås ved en meget omfattende omlægning af landbruget og massiv skovplantning globalt – og dermed også i Danmark. En forudsætning for, at der kan produceres mere mad på mindre areal og med mere ekstremt vejr, er bl.a., at man kan udvikle meget effektive og højtydende planter. Dermed opnår man større udbytte på mindre areal. Det vil også være nødvendigt at udvikle planter, som kan lagre CO<sub>2</sub> i rødderne eller klare sig med mindre gødning eller pløjning, da begge dele baserer sig på fossile kilder (klimaforebyggelse). Desuden skal der udvikles planter, som kan tilpasse sig de klimaforandringer, vi allerede ser også i Danmark og vil se meget mere af fremover. Det kan fx være sorter som er mere tørkerobuste (klimatilpasning). Den type planter vil måske kunne udvikles med traditionel forædling, men med CRISPR kan sorterne udvikles hurtigere og mere præcist. Det arbejder man allerede på, som det fremgår af afsnit 2 i materialet her.

### 1.2 Hvad er GMO? Traditionelle teknikker og CRISPR

Udviklingen af den menneskelige civilisation har været afhængig af menneskers evne til at fremavle nye plantetyper, som er stadig mere næringsrige,

robuste, højtydende, vejrbestandige, velsmagende m.m. Uden avlsarbejdet ville det ikke have været muligt at fremstille fødevarer nok til den konstant voksende globale befolkning. Mennesker har siden 8.000 år f.k. krydset planter for at fremavle bestemte egenskaber.

Siden 2. verdenskrig har man desuden med et vist held forsøgt sig med at frembringe nye gavnlige egenskaber ved at anvende bestråling eller kemikalier og andre kemiske og bioteknologiske metoder (se nærmere beskrivelse i afsnit 2 i materialet).<sup>3</sup> Fælles for sidstnævnte er, at de indebærer, at man ændrer plantens arvmasse. Fælles for al traditionel forædling er, at den fører til omarrangering af de genetiske variation, der findes inden for arten. Det bliver eventuelt suppleret med, at man ødelægger gener, men man tilføjer ikke gener fra andre arter.

Det ændrede sig, da genteknologien kom frem for over 30 år siden. Kombinationen af øget viden om genernes funktion og nye genteknologiske værktøjer gjorde det muligt at ændre mere målrettet ved plantens gener. Det blev fx muligt at overføre gener fra andre planter inden for samme eller nært beslægtede arter – såkaldt cis-genese – uden et behov for at dyrke og krydse planterne. Og det blev muligt

<sup>3</sup> The European Societies of Plant Biology. 2018. *Regulating genome edited organisms as GMO's has negative consequences for agriculture, the society and economy*

at tilføje DNA fra organismer, planten ikke kan reproducere sig med naturligt – såkaldt transgenese.

Da det begyndte at blive kendt i offentligheden, at forskerne arbejdede på at ændre i generne, der blev opfattet som organismens ”grundopskrift”, vakte det en del angst og mistro. Særligt tanken om at flytte gener fra helt andre organismer ind i planterne vakte bekymring. Var forskerne nu gået i gang med at lege gud? Ville de til at designe mennesker og hele naturen? Og kunne de overhovedet overskue de langsigtede konsekvenser af det, de var gået i gang med? På den anden side var mange forskere optimistiske og forestillede sig, at de i løbet af få år ville kunne fremstille planter med præcis de nyttige egenskaber, de ønskede.

Sådan kom det dog ikke helt til at gå. Teknikkerne til genmodificering var upræcise og tidskrævende at arbejde med, så udviklingen gik i starten betydeligt langsommere, end man havde forventet. I de seneste år er der imidlertid sket en hurtig og omfattende teknologisk udvikling. Særlig betydning har CRISPR-metoden fået, siden den blev udviklet i 2012 (se nærmere beskrivelse i del 2 af dette materiale). Den har gjort det muligt at fjerne, erstatte og indsætte DNA fra egen eller andre arter, langt enklere, hurtigere og mere præcist end tidligere. Og at lave små ændringer, som at tænde og slukke for gener, uden at ændre organismens DNA-sekvens.

### 1.3 Hvorfor er europæerne så meget imod GMO?

Frygten for, at GMO fødevarer ville være farlige at indtage, og at GMO ville sprede sig ukontrollabelt i naturen, kom heller ikke til at holde stik. Det viser bl.a. en meget stor amerikansk gennemgang af al forskning fra 20 år med GMO fra 2016. Den konkluderer, at der hverken er fundet helbredsskader hos dyr eller mennesker, som skyldes, at de har spist GMO-planter.<sup>4</sup> Andre undersøgelser har vist det samme: GMO er ikke i sig selv mere risikabelt at anvende, end konventionelle forædlingsteknikker.<sup>5</sup> GMO-modstandere har flere gange fremført, at fodring af dyr med GM-foder har ført til sygdomme som sterilitet, tumorer eller tidlig død. I ingen tilfælde



har den dokumentation, modstanderne fremlagde, dog levet op til kravene for videnskabelige undersøgelser.<sup>6</sup>

Alligevel er modstanden mod GMO fra befolkningerne især i Europa ikke blevet mindre med årene. Accepten af at anvende genteknologi til at udvikle nye sygdomsbehandlinger til mennesker har været voksende siden genteknologiens barndom. Det samme har dog ikke gjort sig gældende på planteområdet. Det ser der ud til at være flere grunde til, som vi skal komme tilbage til herunder.

Den største modstand findes i Europa, hvor der indtil 2017 kun er godkendt en enkelt afgrøde til dyrkning i EU. Det er en majssort (MON810), som har været dyrket på ca. 100.000 ha årligt i en række syd-europæiske lande.<sup>7</sup>

<sup>4</sup> National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects*. Washington, DC: The National Academies Press,

<sup>5</sup> EU Commission. 2010. A decade of EU-funded GMO research (2001-2010), 16

<sup>6</sup> American Association for the Advancement of Science. 2012. *Statement by the AAAS Board of Directors On Labeling of Genetically Modified Foods*

<sup>7</sup> Landbrugsstyrelsen. 2018. *Hvad kan de nye planteforædlingsteknikker bruges til og hvordan skal de reguleres?*





### 1.3.1 Få GMO'er dominerer

I resten af verden vinder GMO frem. Hidtil har fire typer GM-afgrøder (sojabønne, majs, bomuld og olieraps) og to typer træk (herbicid-tolerance og insekt-resistens) været helt dominerende. Tilsammen dækkede GMO med disse to træk 99 % af det areal, som er tilplantet med GMO i 2017.<sup>8</sup> Den globalt set mest udbredte GM-afgrøde er *Roundup Ready* soja. Den er ved hjælp af genmodifikation gjort resistent over for ukrudtsmidlet glyfosat, som er det aktive stof i Roundup fra det multinationale frø- og kemikaliefirma, Monsanto. Resistensen betyder, at den genetisk modificerede soja ikke påvirkes, når landmanden sprøjter med Roundup, mens andre planter; ukrudt m.m., dør. Et eksempel på en insektresistent afgrøde er Bt bomuld, som udtrykker et gen fra en bakterie, der gør, at planten producerer giftstoffet Bt-toksin. Stoffet er giftigt for bestemte

**MODSTANDEN MOD GMO** fra befolkningerne især i Europa er ikke blevet mindre med årene. Accepten af at anvende genteknologi til at udvikle nye sygdomsbehandlinger til mennesker har været voksende siden genteknologiens barndom. Det samme har dog ikke gjort sig gældende på planteområdet.

skadelige insekter, som dermed bekæmpes, uden at landmanden behøver anvende sprøjtemidler. Det er en fordel, fordi man dermed undgår at sprede giftstoffer, som vil ramme alle organismer i området og ikke kun de insekter, man er ude efter.<sup>9</sup> En del undersøgelser tyder på, at denne type GMO faktisk har ført til, at der bruges mindre sprøjtegift, og at man har fået højere produktivitet mange steder i verden.<sup>10</sup>

Der er dog også problemer forbundet med denne brug af GMO. I nogle tilfælde har man set, at insekter og ukrudtsplanter har udviklet resistens mod et sprøjtemiddel, men det skyldes lokalt overforbrug af det pågældende middel.<sup>11</sup> Fælles for mange af de rapporterede problemer er i det hele taget, at de ikke skyldes genmodifikationen i sig selv. De skyldes problemer med bestemte GMO'er, nemlig de i dag dominerende typer. Disse GMO'er er udviklet til en bestemt type landbrug, karakteriseret ved monokultur. Det betyder, at de problemer med miljøbelastning, kemiske hjælpemidler, tab af biodiversitet m.m., som er forbundet med det industrialiserede landbrug, også er forbundet med GMO'er som er herbicid-tolerante eller insektresistente.

Derfor er en mange kritikere ikke imponerede over denne type GMO. De ser det som problematisk, at sorterne er udviklet af multinationale firmaer til landbrug baseret på stordrift, monokultur og et højt ressourceforbrug, hvilket langt hen ad vejen ikke er bæredygtigt. At disse GM-sorter er patenterede, mens der ikke i Europa har været tradition for at patentere nye sorter, har også ført til udbredt kritik.

Da GM-sorter med disse to træk er så dominerende, har det fået mange kritikere til at se GMO som uløseligt forbundet med brug af sprøjtemidler og afhængighed af multinationale frø- og kemikaliefirmaer. Og med dyrkningssystemer som er mindre diverse. Tilsammen har disse forhold gjort, at europæerne

<sup>8</sup> ISAAA. 2017. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years*. ISAAA Brief No. 53, 105

<sup>9</sup> ISAAA. 2017. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years*. ISAAA Brief No. 53. ISAAA: Ithaca, NY, p 3

<sup>10</sup> Ibid p 14

<sup>11</sup> National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016, 144

har haft svært ved at se nytten ved GMO, og modstanden har været uændret høj gennem alle årene.

### 1.3.2 Andre GMO'er holdes tilbage

Der er dog i de senere år foregået en del forskning på universiteter og hos mindre producenter, som udvikler genmodificerede organismer. Her udvikles sorter, som fx er mere modstandsdygtige mod sygdom, som er sundere at indtage, som holder sig længere (så madspildet nedbringes), som er mere højtydende, mere klimaresistente m.m.<sup>12</sup> Problemet for disse mindre aktører er imidlertid, at de i Europa ikke kan få godkendt deres planter til udsætning, fordi de ikke har råd til at gennemgå de omfattende sikkerhedsvurderinger, EU-lovgivningen kræver:

### 1.4. EU's GMO-lovgivning og mutagenese-undtagelsen

Modstanden i de europæiske befolkninger mod GMO førte nemlig i 2001 til, at EU vedtog det såkaldte udsætningsdirektiv<sup>13</sup>, som siger, at genetisk modificerede organismer skal gennem en godkendelses-procedure, før de kan frigives til dyrkning i EU. De skal altså opfylde en lang række krav, som nye sorter, der er blevet til ved andre metoder, ikke skal opfylde. Blandt andet skal producenten foretage omfattende miljø- og sundhedsmæssige risikovurderinger af at udsætte den pågældende GMO i det fri.

Da udførelsen af disse risikovurderinger er forbundet med store økonomiske omkostninger, er det paradoksalt nok kun de multinationale frøfirmaer, som har råd til at risikovurdere deres GMO'er. Forskere på universiteter og i mindre firmaer, som arbejder på at udvikle andre typer af GMO, som fx har egenskaber, der udmærket kunne forenes med en bæredygtig dyrkning, er reelt afskåret fra at søge godkendelse af deres planter i EU pga. omkostningerne ved at udføre risikovurderingerne.

#### 1.4.1 Sorter udviklet ved bestråling eller kemi er undtaget

Et andet paradoks ved lovgivningen har været diskuteret på det sidste. Fra starten har nye sorter, som

har fået ændret deres gener gennem bestråling eller kemisk behandling, været undtaget fra godkendelsesproceduren. Der er i direktivet en såkaldt mutageneseundtagelse, som gælder traditionel mutageneseteknik. Begrundelsen for undtagelsen er, at den "traditionelt er blevet brugt i en række anvendelser, og gennem lang tid har vist sig sikre."<sup>14</sup>

Mange har dog indvendt, at strålebehandling gør, at planterne får hundredevis af tilfældige mutationer i deres arvmasse, hver gang de får en ændring, man er interesseret i, og som man avler videre på. Men reelt kender man ikke effekten af alle de øvrige ændringer, planten også har fået. Så hvis man er bekymret for utilsigtede bivirkninger af en enkelt mutageneseændring udført med CRISPR-teknologi, burde man vel være 100 gange mere nervøs for utilsigtede bivirkninger ved at lave 100 tilfældige og ukontrollerede mutationer? Derfor bør mutagenese udført med præcisionsteknologi, som CRISPR, ikke udsættes for strengere sikkerhedskrav, end mutagenese udført med bestråling eller kemi.

Sådanne overvejelser er EU-domstolen blevet bedt om at tage stilling til, og deres dom kom den 25. juli 2018. Til manges overraskelse udtalte domstolen, at det fortsat kun skal være organismer, der er fremstillet ved hjælp af traditionelle mutageneseteknikker, som er udelukket fra direktivets krav om sikkerhedsgodkendelse.<sup>15</sup>

#### 1.4.2 Vægt på ændringen fremfor på teknologien?

Mens GMO-modstanderne generelt har været tilfredse med dommen, har den fået forskerverdenen til at kræve lovgivningen ændret. De ønsker, at lovgivningen skal ophøre med at tage udgangspunkt i, med hvilken teknologi planten er blevet fremstillet. I stedet skal den se på hvor omfattende ændringer, planten har fået. Organismer, som kun har fået udført mindre DNA-ændringer vha. CRISPR, er mindst lige så sikre som dem, der er ændret vha. stråling. Derfor bør de reguleres på samme måde som dem.<sup>16</sup> De hævder desuden, at vi efter 30 år med GMO ved mere om risici ved at anvende dem, end vi gør med sorter udviklet med bestråling eller kemikaliepå-

<sup>12</sup> Genteknologirådet. 2018. *Genteknologiloven – invitation til offentlig debat. Sammendrag*

<sup>13</sup> Europaparlamentets og Rådets direktiv 2001/18/EF af 12. marts 2001 om udsætning i miljøet af genetisk modificerede organismer og om ophævelse af Rådets direktiv 90/220/EØF

<sup>14</sup> Ibid. betragtning 17

<sup>15</sup> Domstolens dom, sag C-528/16, 25. juli 2018

<sup>16</sup> The European Societies of Plant Biology. 2018. *Regulating genome edited organisms as GMO's has negative consequences for agriculture, the society and economy*



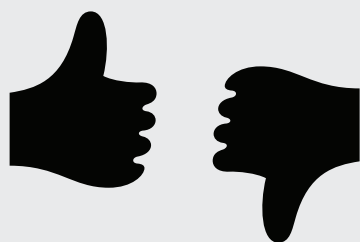
virkning. Så der kan godt være brug for fortsat at risikovurdere organismer, som har fået foretaget omfattende ændringer – fx fået tilsat gener fra andre arter – før man tager dem i anvendelse. Men kravet om risikovurderinger bør ikke gælde for planter, som ikke er ændret mere, end planter ændret ved fx bestråling.

Vi står i dag i en situation, hvor begge sider i debatten hævder, at etiske hensyn taler for deres synspunkt: Modstanderne fremfører, at det er etisk problematisk at ændre så grundlæggende ved naturen, som man gør med genteknologi. Og at det desuden er forkert at udsætte mennesker og natur for risici ved at dyrke GMO. Tilhængerne lægger vægt på, at hvis en teknologi kan hjælpe til at løse meget alvorlige problemer, som kan koste menneskeliv, vil det være forkert ikke at tage den i brug – hvis der ikke er påvist særlige risici ved at gøre det.

Begge sider har altså etiske argumenter, som støtter deres sag. Hvordan man vil afveje argumenterne mod hinanden handler det sidste afsnit om.

### 1.5 Er det under alle omstændigheder etisk problematisk at anvende GMO?

Her vil vi meget kort gennemgå de etiske argumenter for og imod brug af GMO, som præger debatten. I etikinterviewet (side 31) mellem Mickey Gjerris og Kasper Lippert-Rasmussen kan du finde en udbygget gennemgang af argumenterne.



#### DISKUTER ARGUMENTERNE I KLASSEN

Inddrag også gerne etikinterviewet mellem Mickey Gjerris og Kasper Lippert-Rasmussen (side 31) og baggrundsteksten: *Findes der naturlige fødevarer?* (side 37)

*Genmodifikation af planter er forkert, fordi det er unaturligt<sup>17</sup>*

**ENIG** Når mennesker begynder at ændre ved organismerne helt nede på genniveau, så overskrider de en grænse for, hvor meget mennesker må blande sig i naturens orden/skaberværket. Der er ting i naturen, som overgår menneskers fatteevne, og genernes funktion er et af dem. Vi risikerer at begå hybris og udløse katastrofer, hvis vi blander os i naturen på det niveau.

**UENIG** Alt, hvad mennesker gør, er unaturligt, fx går traditionel planteavl jo ud på at manipulere de afgrøder, naturen har skabt. Vi kan ikke sætte en bestemt grænse og sige, at når vi overskrider den, bevæger vi os over i det 'for unaturlige.' Derfor kan naturlighedsargumentet ikke bruges. Vi må fastholde, at det, at noget er unaturligt, ikke betyder, at det er forkert at gøre det.

*Genmodifikation af planter er forkert, fordi det er risikabelt*

**ENIG** At ændre på planters gener med genteknologiske metoder er risikabelt på måder, andre forædlingsmetoder ikke er. Mennesker kommer sandsynligvis ikke til at forstå genernes funktion godt nok til, at de kan overskue de langsigtede konsekvenser af at redigere i dem. Og hvis der om nogle år opstår sygdomme hos mennesker eller skader på økosystemer, forskerne ikke havde forudset, er det for sent at skrue udviklingen tilbage.

**UENIG** Genteknologiske ændringer behøver ikke være mere omfattende end ændringer, der opstår ved traditionelle metoder som bestråling og kemikaliepåvirkning. Der kan med CRISPR laves ændringer, som er meget mindre omfattende end de traditionelle. Når der efter 20 år med risikovurderinger af GMO ikke er fundet skader på mennesker eller natur, bør man ikke blive ved med at afvise alle GMO'er med henvisning til usikkerhed for langsigtede konsekvenser.

<sup>17</sup> Se også baggrundspapiret: *Findes der naturlige fødevarer?* (side 37)

*Genmodifikation af planter er forkert, fordi det fremmer intensivt landbrug og multinationale frøfirmaer*

**ENIG** Stort set alle de GMO'er, der er fremstillet, er gjort tolerante over for sprøjtemidler eller er giftige for insekter – dvs. de er fremstillet til at indgå i intensive, ubæredygtige landbrug. De er udviklet af multinationale frøfirmaer, som bruger dem til at styrke deres egen markedsposition. De tager patenter på afgrøderne og tvinger på den måde bønderne til at købe ny såsæd hvert år. Intet af dette kommer forbrugerne eller miljøet til gode.

**UENIG** Det er rigtigt, at de dominerende GMO'er er gjort herbicid-tolerante eller insekt-resistente. Det betyder dog ikke, at man kun kan anvende genmodifikation til at tilføre disse egenskaber. Mange forskere og mindre frøproducenter arbejder på at fremstille GMO'er, som har egenskaber, der fx kan bidrage til at modvirke klimaforandringerne eller nedbringe brugen af sprøjtegift. Det er forkert at bremse udviklingen af nyttige GMO'er med henvisning til helt andre typer. Og paradoksalt nok betyder de omfattende godkendelsesregler for GMO, at kun de multinationale firmaer har råd til at udvikle og markedsføre nye sorter.

*Genmodifikation af planter er værdifuldt, fordi det kan bidrage til at modvirke klimakrisen og fødevarekrisen*

**ENIG** Ved vurderingen af teknologier er det væsentligt ikke kun at se på konsekvenserne af at tage den i brug; man bør også medtage konsekvenserne af ikke at tage den i brug. Hvis den globale temperaturstigning skal holdes på 1,5°C, er det nødvendigt at producere meget mere mad på et meget mindre

areal og med brug af færre ressourcer. Genmodifikation vil, brugt rigtigt, kunne bidrage til dette, og vi er ikke i en situation hvor vi kan undlade at bruge alle redskaber. Derfor vil det være etisk forkert at afvise enhver brug af genteknologi. Eller at spænde ben for den ved at stille sikkerhedskrav, man ikke stiller til lignende sorter frembragt ved bestråling.

**UENIG** Det er rigtigt, at situationen med klimaforandringer og voksende global befolkning er alvorlig, og at det er vigtigt at holde de globale temperaturstigninger under 1,5°C. Men at sætte sin lid til, at genteknologi kan yde et vigtigt bidrag til dette, er utroværdigt i og med, at vi efter 30 år med GMO ikke har set overbevisende resultater i den retning. Der er en tendens til at sætte urealistiske forhåbninger til, at teknologien kan løse alle problemer, så vi ikke behøver at lave om på den levevis med et ikke-bæredygtigt højt forbrug, vi har vænnet os til. Det skygger for erkendelsen af, at det, der skal til, er en grundlæggende ændring i levevis. Vi skal nødvendigvis vænne os til et langt lavere og mere bæredygtigt forbrug.

■





”

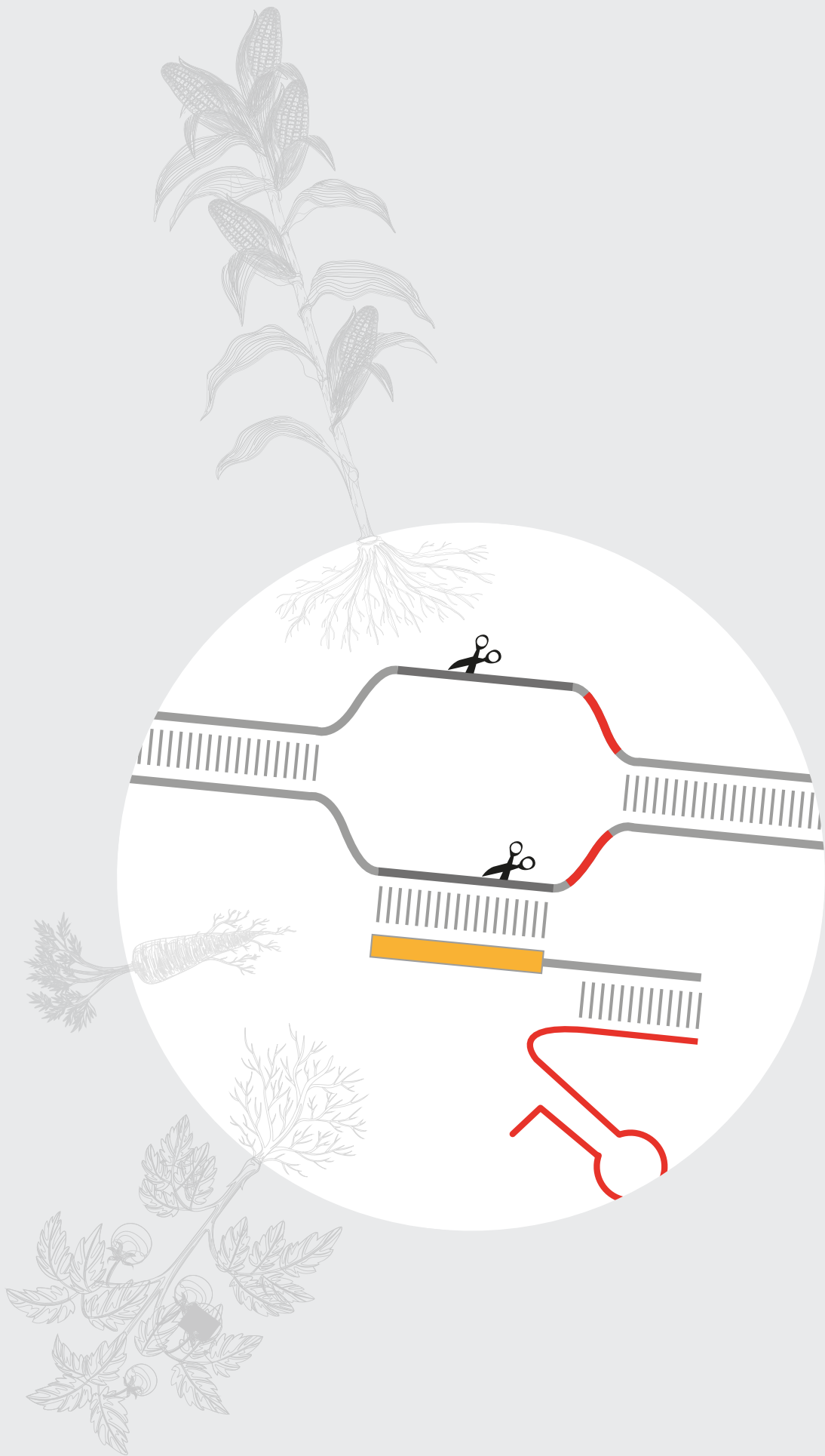
Der er ting i naturen, som overgår menneskers fatteevne, og genernes funktion er et af dem. Vi risikerer at begå hybris og udløse katastrofer, hvis vi blander os i naturen på det niveau.



”

Alt, hvad mennesker gør, er unaturligt, fx går traditionel planteavl jo ud på at manipulere de afgrøder, naturen har skabt. Vi kan ikke sætte en bestemt grænse og sige, at når vi overskrider den, bevæger vi os over i det 'for unaturlige.'







## 2. Sådan kan klimavenlige planter udvikles ved hjælp af CRISPR-Cas9

Hvordan udvikles nye afgrøder, der lever op til de mange krav, der blev omtalt i det foregående afsnit: Afgrøder der på den ene side kan bidrage til at løse vigtige samfundsproblemer som klimaforandringerne; på den anden side kan gøre det på en måde, der ikke frembringer eller forstærker sundheds- og miljørisici i fødevarereproduktionen – og meget gerne tvært imod? Og som derudover skal være kommercielt interessante, dvs. de skal kunne konkurrere på pris og kvalitet?

### HER KAN DU LÆSE OM...

I denne tekst kan du læse om, hvordan forskere bruger CRISPR-Cas9 teknologien til at lave vilde planter om til afgrøder, der er mere skånsomme miljø og klima

Teksten forudsætter et grundlæggende kendskab til mendelsk genetik. Nogle af boksene introducerer mere avancerede molekylærbiologiske begreber, fx regulatoriske og markør-sekvenser, translation, m.m.

### 2.1 Forædling som løsning på klimaudfordringen

De sorter, der i dag er til rådighed, er som nævnt på flere måder utilstrækkelige set i lyset af en række aktuelle udfordringer. I en verden med et forandret klima, pres på natur og miljø og voksende befolkningstal, er der behov for, at planteproduktionen er bedre klimatilpasset - fx bedre kan klare perioder med tørke eller andre former for mere ekstremt klima - og klimabeskyttende, fx ved at binde mere kulstof i jorden. Desuden er der brug for, at de er meget højtydende, så der kan produceres mere på mindre areal, og landbrugsarealer kan tilplantes med skov, som kan optage CO<sub>2</sub>.

Både konventionel og økologisk produktion er et godt stykke fra at leve op til disse krav. Konventio-

nel produktion er højtydende men miljøbelastende; økologisk produktion er ofte mere skånsomt over for miljøet, men yder et mindre udbytte per hektar eller per dyr og kræver derfor mere areal, der kunne være brugt til fx skov. Begge kan vise sig at opleve en betydelig udbyttenedgang, hvis der ikke udvikles sorter, der er mere klimarobuste.

Mange af de egenskaber, der efterspørges, kan dog frembringes eller findes allerede, nemlig i de oprindelige vilde slægtninge, som de kommercielle varianter engang blev udviklet fra. Eller i vilde plantearter, der hidtil slet ikke er blevet udviklet til moderne fødevarereproduktion. Det har givet forskerne den idé, at man, frem for at avle videre på de nuværende afgrøder, tager udgangspunkt i disse vilde arter – at man domesticerer eller re-domesticerer dem. Det kaldes forædling når man udvikler planter, så de bliver mere værdifulde.

I det følgende vil du få en forståelse af, hvordan man kan bruge gen-editeringsværktøjet CRISPR-Cas9 til at forædle planter med håbet om, at de kan løse klimaudfordringerne bedre end nutidens afgrøder. Du vil få indblik i de fordele, genediterede afgrøder kan have i forhold til nutidens afgrøder eller til afgrøder, der kan frembringes vha. alternative forædlingsteknologier. Og til sidst vil du blive introduceret for de særlige risici, metoden kan tænkes at medføre.

## 2.2 To eksempler på fremtidens klima- og miljøvenlige afgrøder

Først skal vi se på to konkrete eksempler på, at man vha. forædling håber at kunne forædle afgrøder, så de både er klimavenlige og begrænser miljøbelastning. Herefter dykker vi ned i teknologien CRISPR-Cas9, der kan speede forædlingen op. Som vi hørte i det foregående afsnit, er tid en knap ressource i kampen imod klimaforandringer.

### 2.2.1 Udvikling af robust tomat (re-domesticering)

Når du i dag står i supermarkedet og vælger en tomat, kan du vælge mellem mange forskellige former, smage, farver og størrelser. De er dog alle temmelig forskellige fra den oprindelige tomat, de kommer fra, der vokser i Sydamerika – en lang ranglet plante med tomater på størrelse med ribs. Man kan nogle gange købe dem som netop ”ribstomater” (*Solanum pimpinellifolium*). Det er denne tomat, man gennem mange års forædlingsarbejde har udviklet til alle de varianter, du kan købe.

#### *Større robusthed er nøglen*

Ribstomat har dog nogle smagsnuancer og en robusthed over for fx tørke og skadelige organismer, de moderne tomater (*Solanum lycopersicum*) har tabt undervejs i forædlingsarbejdet. Formentlig fordi man primært har fokuseret på at fremavle tomater med hyldeholdbarhed, højt udbytte, størrelse, form, evnen til at modne hele klasen samtidig, osv.

Sådanne egenskaber er vigtige i moderne planteavl, hvor prisen spiller en meget vigtig rolle. Man har til gengæld kunnet leve med, at højt forædlede afgrøder har tabt noget af deres robusthed, fordi man kan støtte planternes vækst ved hjælp af fx pesticider og tilførsel af gødning.

Denne intensive dyrkningsform påvirker dog miljø, natur og sundhed negativt. Der kan også være økonomiske fordele ved at udvikle mere robuste afgrøder, der skal sprøjtes eller gødes mindre. En udbredt strategi til at fremavle nye egenskaber i planter er at overføre egenskaber til de moderne sorter fra vilde slægtninge (”rewilding”). Det kan gøre dem mere robuste over for biotiske (fx skadedyr) og abiotiske (fx tørke) stressfaktorer og måske mindre gødningskrævende.

Robusthed er dog vanskeligt at fremavle, da det normalt skyldes et samspil af mange gener, som er udvalgt gennem millioner af års evolution. Det er usandsynligt, at man kan gøre fx en tomatplante mere robust ved alene at overføre ét eller få gener, sådan som man normalt gør ved genmodifikation. Og som vi skal vende tilbage til neden for, er det heller ikke nemt at gøre vha. traditionel forædling.

#### *Ny strategi: tilbageførsel af domesticerings-gener*

Men udviklingen af to teknologier har anvist en ny og lovende strategi. Det drejer sig om CRISPR-Cas9 teknologien og om genetisk kortlægning (sekventering).<sup>1</sup>

De senere års sekventering af afgrøders genomer har lidt overraskende vist, at mange af de egenskaber, der har gjort moderne afgrøder kommercielt attraktive, er genetisk enkle. Det betyder, at de nemt kan overføres vha. genteknologi. De skyldes nemlig, at enkeltgener er blevet slået i stykker. I den moderne tomat har man fx identificeret en række mutationer, som øger udbyttet i forhold til den oprindelige tomat. Sådanne gener, der gennem tiden er blevet selekteret gennem forædling, bliver kaldt for domesticeringsgener.

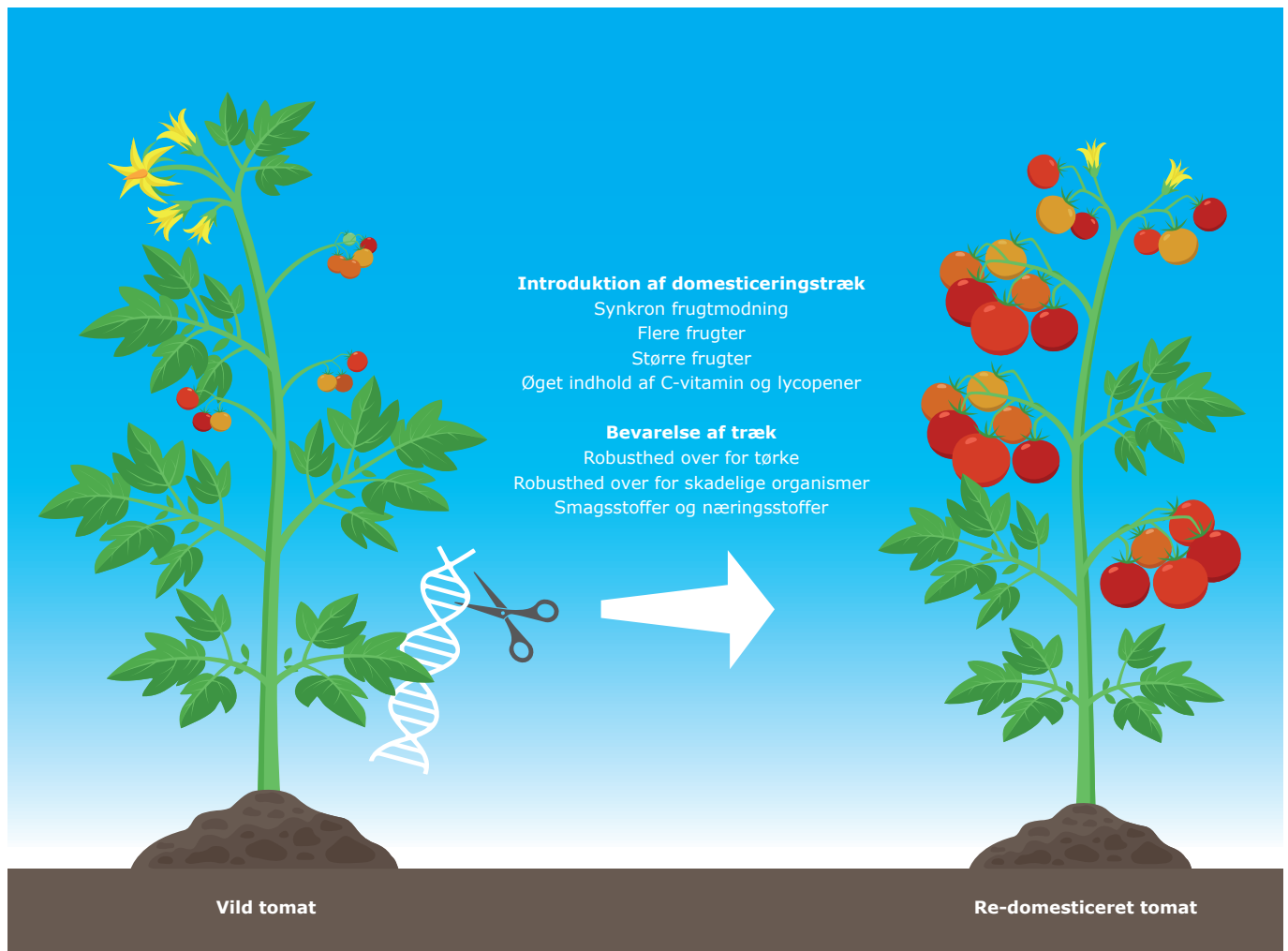
Det har affødt en idé om at overføre domesticeringsgener til oprindelige robuste planter fra moderne afgrøder (re-domesticering), frem for fx at overføre egenskaber fra den oprindelige afgrøde til den moderne afgrøde (såkaldt rewilding).

I 2018 viste forskere, at man vha. CRISPR-Cas9 relativt hurtigt, nemt og præcist kan give den oprindelige tomat en række domesticeringsgener. Ved at slå en række gener i stykker i *Solanum pimpinellifolium* skabte de en tomat, der er væsentligt tættere på en moderne tomat – men med smag og robusthed som den oprindelige tomat. Andre forskere har samtidig vist, at man faktisk kan gøre dette ved alene at ændre i de regulatoriske sekvenser, der bestemmer domesticeringsgenernes aktivitet, dvs. helt uden at ændre på generne selv (figur 1).

### 2.2.2 Udvikling af flerårig hvede (domesticering)

Det andet eksempel på udviklingen af klimavenlige afgrøder, vi skal se på, handler om at udvikle en fler-

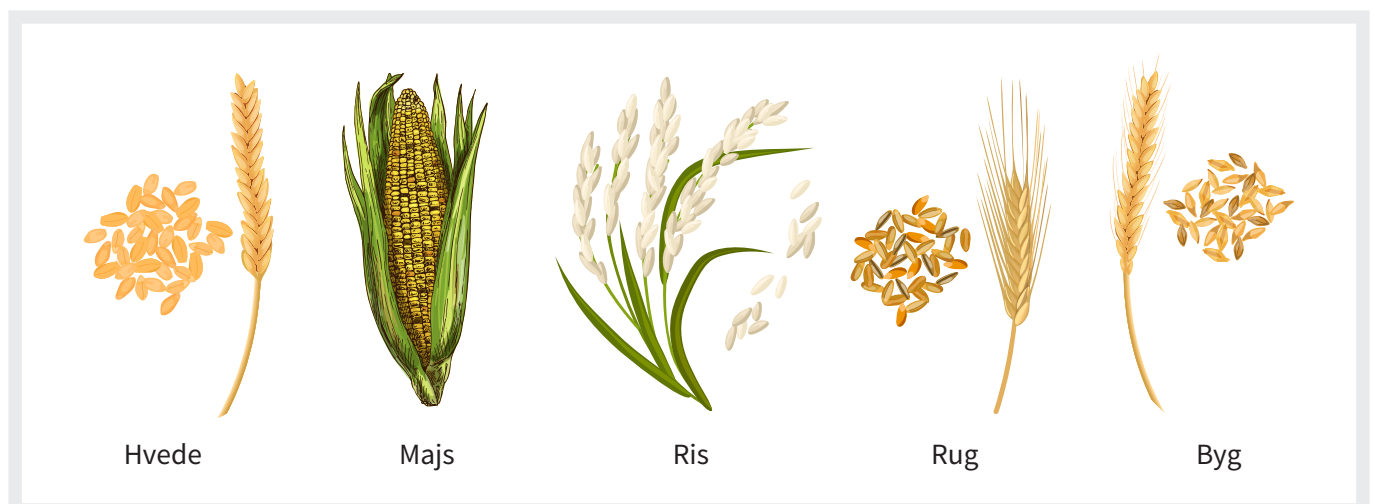
<sup>1</sup> Du kan læse mere om genetisk sekventering på <http://www.etiskraad.dk/etiske-temaer/genteknologi/undervisning-til-gymnasieskolen/genom-undersogelser/hvad-er-en-genomundersogelse>



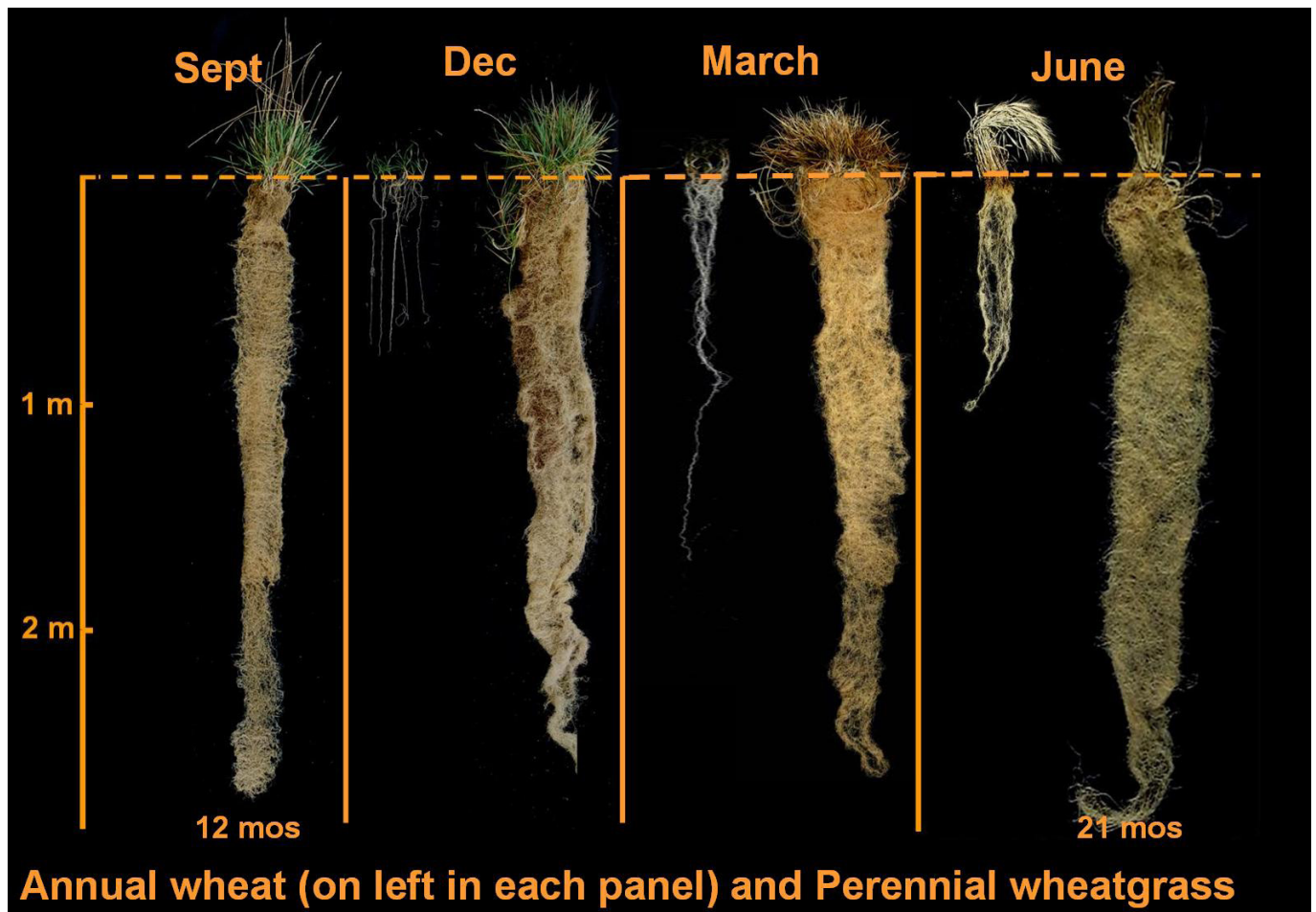
**FIGUR 1. RE-DOMESTICERING AF VILD TOMAT**

Forskerne kunne ved at deaktivere eller ændre på aktiviteten af få udvalgte gener (domesticeringsgener) opnå en oprindelig tomat med en række vigtige træk fra den moderne tomat: Synkroniseret frugtmodning, så klaserne kan plukkes hele; flere, større og mere robuste frugter (fra meget små runde frugter til ovale frugter på op til 500 g med mindre internt tryk og dermed lavere risiko for at sprække) samt forøget indhold af C-vitamin og lycopener. I takt med at der opdages yderligere domesticeringsgener, kan planten udvikles yderligere.

De øvrige gener er den oprindelige tomat, dvs. træk som robusthed over for tørke, hvilket kan begrænse behovet for kunstvandrig og øge udbyttet i perioder med vandmangel; robusthed over for skadedyr, hvilken kan begrænse behovet for brugen af pesticider; et naturligt højt indhold af lycopener og C-vitamin, som anses for sundhedsfremmende; og flere smagsnuancer.



**HVEDE HØRER TIL GRÆSFAMILIEN**, der består af over 4.000 arter, herunder velkendte afgrøder som majs, ris, rug, byg, havre og bambus.



**FIGUR 2: FORSKELLE I RODSTØRRELSE PÅ ENÅRIG OG FLERÅRIG HVEDE I LØBET AF ET ÅR**

(kilde: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4\\_Seasons\\_Roots.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4_Seasons_Roots.jpg))

årig hvede ud fra en vild hvedesort, der naturligt er flerårig.

Den hvede, der dyrkes på markerne, er karakteristisk for størstedelen af de afgrøder, der dyrkes i dag: Hvis man skal opnå et tilfredsstillende udbytte, kræver de regelmæssig nedbør, betydelig tilførsel af næringsstoffer og effektiv bekæmpelse af ukrudt og skadedyr, m.m. Det skyldes som nævnt bl.a. den forædlingsproces, afgrøden har været igennem. I hvedes tilfælde ikke mindst valget af én-årige varianter, der skal høstes/genplantes på ny hvert år. Sådanne planter danner et begrænset rodnet og bruger de fleste kræfter på at udvikle relativt store kornaks.

#### *Klima- og miljøfordele ved flerårige afgrøder*

*Intermediate wheatgrass* (*Thinopyrum intermedium*) er en nærtbeslægtet art, der ikke er udviklet som en højtydende afgrøde. Den er dog interessant set i sammenhæng med de udfordringer, der blev nævnt oven for. Den er nemlig flerårig og kan ligesom plæ-

negræs "klippes", idet vækstpunktet (meristemet) forbliver intakt, fordi det sidder ved overgangen til rødderne nede ved jorden. Man høster altså ikke rødderne og pløjer ikke. Det giver en række fordele for både landmand, miljø og klima. Udviklingen af et stort rodnet (op til 3 meter dybt) gør:<sup>2</sup>

- at planten kan overleve lange perioder med begrænset nedbør og dermed er bedre tilpasset de vejrudsving, global opvarmning medfører
- at planten er bedre til at indfange næringsstoffer, hvilket stiller mere begrænsede krav om tilførsel af gødning og giver mindre udvaskning af næringsstoffer
- at der bindes mere kulstof i jorden til gavn for klimaet
- at ukrudtsplanter har sværere ved at finde fodfæste, hvilket reducerer behovet for ukrudtsmidler eller manuel lugning
- at landmanden kan undgå mange ture gennem markerne med gødning, sprøjtning, pløjning,

<sup>2</sup> <https://dl.sciencesocieties.org/publications/csa/articles/61/11/4>



harvning, osv., der udleder CO<sub>2</sub> og er tidskrævende

- at jordkvaliteten øges, fordi rødderne begrænser erosion og tilfører kulstof og struktur, og jorden ikke presses sammen af hyppig kørsel med maskiner

#### Udfordrende forædling

Det er desværre udfordrende at få sådanne planter til at yde på en økonomisk bæredygtig måde, da *wheatgrass* ikke som moderne kornsorter har været igennem hundrede- eller tusindvis af års af forædlingsarbejde. Her nogle af de udfordringer, forædlerne kæmper med:

- **lille størrelse af korn**, som både giver et lille udbytte (ca. en fjerdedel af moderne hvede) og besværliggør høst
- **at kornet slås ned i dårligt vejr** – for at få større frø er man ofte nødt til at fremavle højere planter, men højere planter tipper nemmere ned, så akset knækker eller kommer til at hænge nedad, hvilket dels stopper deres vækst, dels gør høst vanskeligt
- **ustabilt udbytte** – planternes udbytte dykker efter to-tre år og vil formentlig maksimalt kunne dyrkes fem år ad gangen. Især når de efter nogle år danner et tæt vækstlag, begrænser de automatisk deres frøproduktion

I 2018 har man udviklet den første kortlægning af genomet for *intermediate wheatgrass*. Det vil kunne bruges til at holde styr på forholdet mellem geno- og fænotype under forædlingsprocesser.<sup>3</sup> Sammen med et kendskab til hvedens domesticeringsgener muliggør det en langt mere målrettet forædlingsproces, uanset hvilken forædlingsteknik man vælger.

Man har vha. traditionel forædling forsøgt at krydse *wheatgrass* med andre hvedevarianter som spelt, men de varianter, der har opnået en markant udbyttefremgang, har fx mistet flerårigheden. Det viser, hvor svært og tidskrævende det kan være at forædle planter.

Som vi hørte i det første eksempel om tomaten, ser det dog ud til, at geneditering vha. CRISPR-Cas9 kan speede forædlingen op. Men er der overhovedet

grund til at tro, at denne teknik er mere lovende end andre forædlingsteknikker? I det følgende skal vi se nærmere på de særlige muligheder og begrænsninger, CRISPR-Cas9 teknikken giver sammenlignet med alternative metoder, og herefter på de mulige risici.

#### 2.3 CRISPR teknikken

Brugen af CRISPR til at domesticere eller redomesticere ser lovende ud, men der er foreløbig tale om forskningsresultater. Man ved endnu ikke i hvilket omfang det vil lykkes at fremavle afgrøder, der både er højtydende og miljø- og klimavenlige. Og i hvilket omfang de i givet fald vil blive brugt afhænger naturligvis også af forbrugernes efterspørgsel, miljøkrav, tilskudssystemer, osv.

To helt store fordele ved CRISPR-Cas9 teknologien er, at:

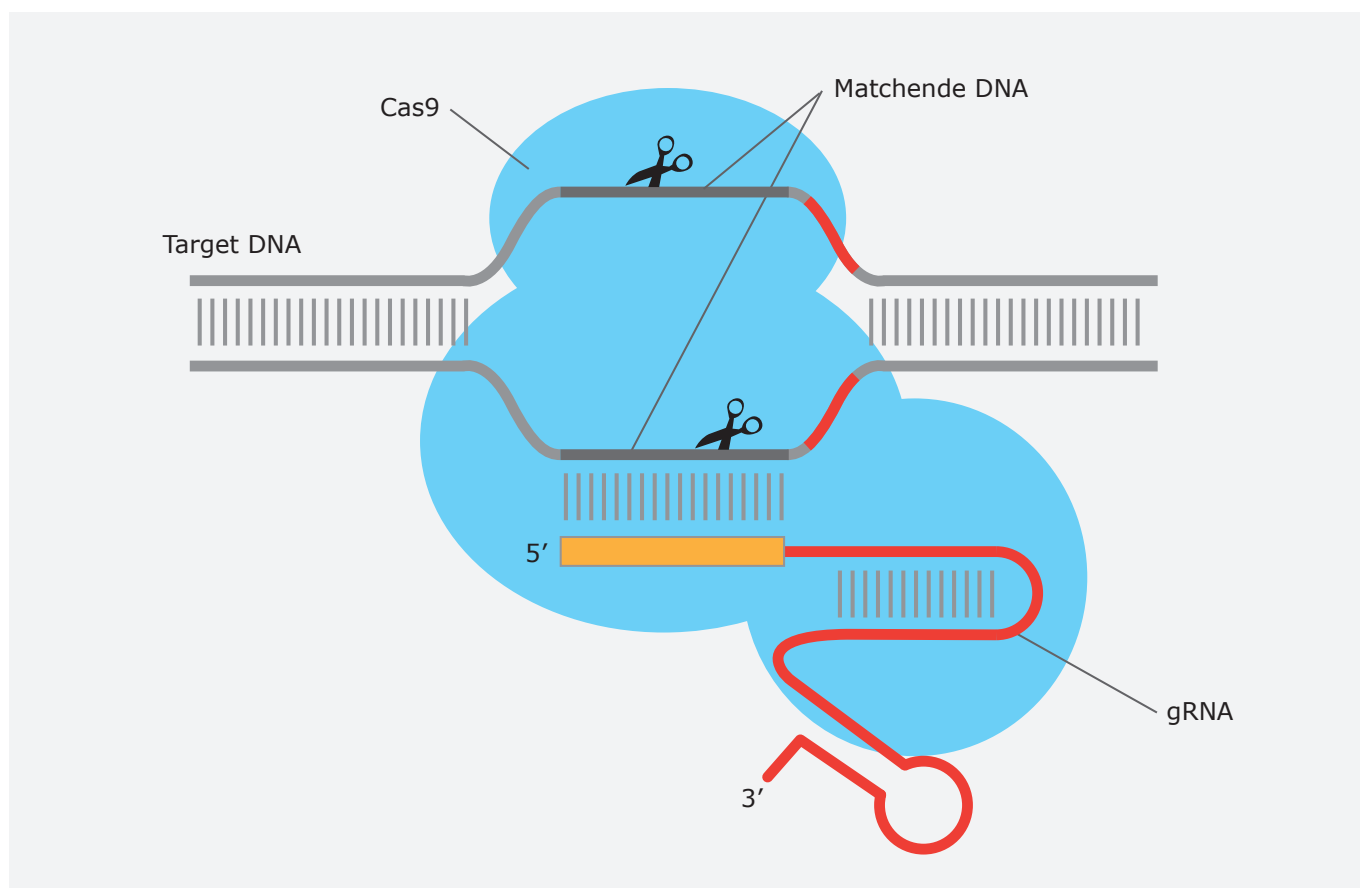
- den gør det forholdsvis nemt og billigt præcist at "programmere", hvor i arvmassen der skal ændres, og hvilken ændring der skal gennemføres
- den kan bruges til at ændre flere gener på én gang ("multiplexing")

(næste afsnit fortsætter side 22)

<sup>3</sup> <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-016-2799-7>

## I de følgende figurer kan du læse mere om CRISPR

- Figur 3: Hvordan CRISPR-komplekset er opbygget
- Figur 4: Hvordan CRISPR-Cas9 ødelægger et gen
- Film: Se CRISPR-Cas9 i funktion
- Figur 5: Trinnene i udviklingen af en genmodificeret/editeret plante
- Figur 6: Eksempel på plasmid med 6 CRISPR-gener, der hver skal foretage en loss of function mutation i modtagerplantens arvmasse og dermed give planten en række domesticeringsgener

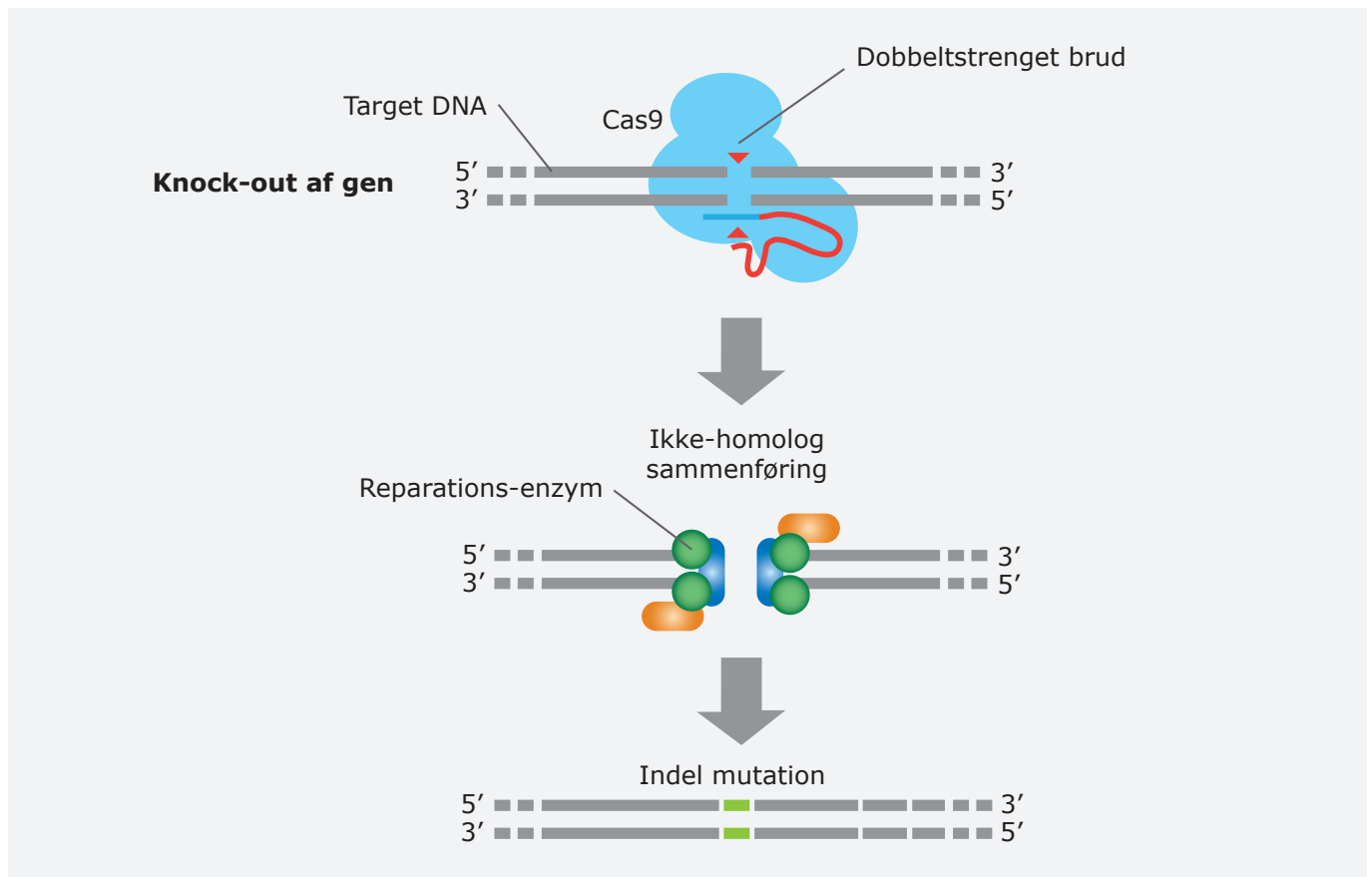


**FIGUR 3: CRISPR-CAS9 KOMPLEKSET**

Figuren viser de to “hovedpersoner” i CRISPR/Cas9-komplekset, som gør det muligt at foretage genetiske ændringer på et planlagt sted i plantens arvmasse:

**Cas9:** En molekylær ”saks” i form af en såkaldt endonuclease der kan klippe begge strenge i et DNA-molekyle over

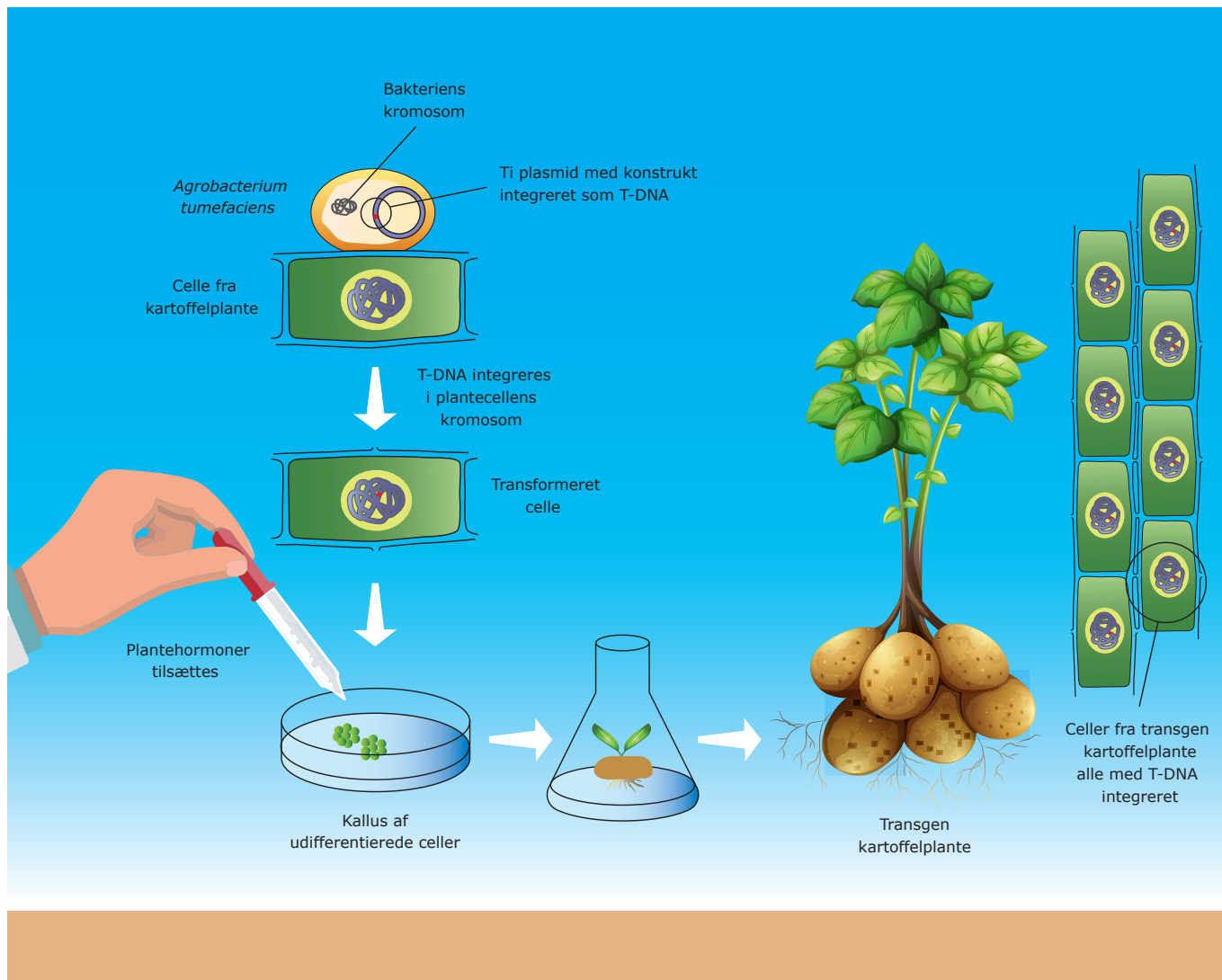
**gRNA:** Guide RNA er den ”spørhund” i form af et stykke DNA, der binder til Cas9 og kan føre den over til det stykke DNA (target DNA), man vil ændre. Det kan det, fordi det har en sekvens der matcher (=er komplementær med) den sekvens, der skal ændres. Denne del kan designes, så den passer med præcis det gen eller den regulatoriske sekvens, der ønskes modificeret. Hvis man fx vil foretage mutationer i domesticeringsgenerne forudsætter det, at man på forhånd har kortlagt DNA-sekvensen af disse gener og dermed kender domesticeringsgenernes præcise sekvens



**FIGUR 4: CRISPR ØDELÆGGER ET GEN**

Figuren viser knock-out af et gen ved at lave en loss-of-function mutation. Det dobbeltstrengede brud, Cas9 udfører, efterfølges af ikke-homolog sammenføjning – en klodset såkaldt ”indel” (insertion eller deletion) reparation, der ofte ødelægger genet, fordi det forrykker rækkefølgen af baser i genet (”frameshift mutation”). Teknikken udnytter altså, at celler – især planter – naturligt udfører dårlige reparationer.

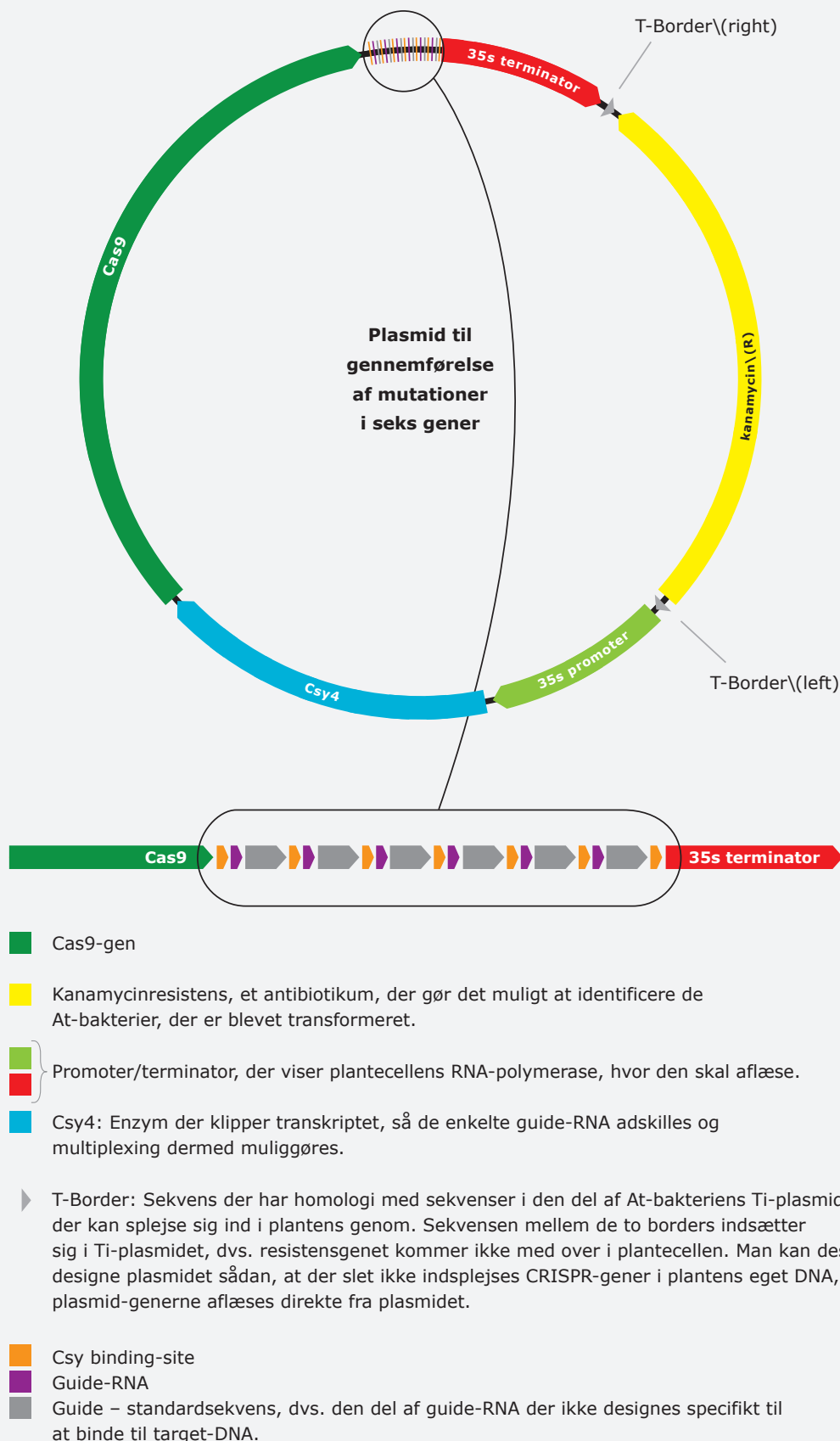




## FIGUR 5: LABORATORIEPROTOKOL FOR GENETISK MODIFIKATION AF PLANTER

Figuren viser, hvordan en plante kan modificeres ved at indføre genetisk materiale via bakterien *Agrobacterium tumefaciens*, der har en naturlig evne til at overføre gener til planteceller. Ved *transgen* modifikation overføres et gen med plasmidet, der spontant splejser sig ind et eller flere tilfældige steder i plantens eget arvemateriale, som dermed nedarves. Ved CRISPR-baseret editering sker der ikke overførsel af et nyt gen til plantens arvemateriale; i stedet giver plasmidet cellen "opskriften" til det gensplejsnings-kit, der gennemfører en modifikation af plantens egen arvemasse (se de forskellige dele i figur 6). Efter et stykke tid nedbrydes plasmidet, og kun mutationen i plantens arvemasse vil være tilbage, som nedarves.





**FIGUR 6: PLASMID TIL GENNEMFØRELSE AF MUTATIONER I SEKS GENER**

Plasmid, der overført til en plantecelle udtrykker 6 CRISPR-komplekser, målrettet hvert sit gen; og nederst en forstørrelse af den del, der rummer guide-RNAerne. Plasmidet overføres til jordbakterien *Agrobacterium tumefaciens*, som bruges til at inficere plantecellerne (se figur 5).

## 2.4 Sådan er de planter, du spiser, udviklet – konventionel og bioteknologisk forædling

Udviklingen af nye mere værdifulde plantesorter kaldes som nævnt forædling. Man skelner traditionelt mellem konventionel og bioteknologisk forædling. Denne opdeling siger dog ikke så meget om, hvor omfattende genetiske modifikationer, der gennemføres. Konventionel forædling benytter en række teknikker, fx manipulation af kromosomantal og mutagenese, der udgør meget omfattende genetiske ændringer. Fx har man gjort agurker og bananer triploide, så de ikke rummer kerner. Sådanne teknikker betragtes dog af historiske grunde som konventionelle forædlingsteknikker.<sup>4</sup>

### 2.4.1 Krydsningsforædling

Henover de tusindvis af år, hvor mennesket har været agerbrugere, har man udvalgt de bedste eksemplarer blandt de høstede afgrøder, og man har krydset de bedste eksemplarer med hinanden for at samle de bedste egenskaber. På den måde har man via planternes naturgivne genetiske variation ændret på egenskaberne – og dermed den genetiske sammensætning – i afgrødeplanterne.

Også i dag er krydsningsforædling centralt. To forskellige sorter med hver deres attraktive træk krydses, og man håber blandt afkommet at finde en blanding af forældrene, der har tilstrækkeligt mange af de vigtigste attraktive egenskaber. Det kan være nødvendigt at krydse afkommet med en af forældrene igen, evt. flere gange.

Det er dog ikke sikkert, at man kan finde den eftersøgte egenskab, fx et gen der giver resistens over for en bestemt plantesygdom, i en moderne sort. Som vi hørte oven for kan det derfor være relevant at krydse en moderne sort med en vild slægtning.

Det kræver et langt arbejde med gentagne tilbagekrydsninger med den moderne sort for at komme af med alle de gener/egenskaber i den vilde slægtning, der er kommercielt uattraktive. At udvikle nye sorter gennem krydsning tager lang tid, normalt 12-16 år. Normalt vil der desuden være en pris at betale i form af dårlige træk, fordi man ikke kan fremavle et afkom, der på én gang har fået alle eller næsten alle forældrenes bedste gener.



### 2.4.2 Mutationsforædling/mutagenese

Det er dog heller ikke sikkert, at man kan finde de eftersøgte egenskaber/gener i de vilde slægtninge.

I 1950'erne løb man ind i det problem, at man ikke kunne få planterne til at øge ydelsen i samme takt, som der kom flere mennesker til. "Den grønne revolution", som reddede især asiatiske lande som Kina og Indien fra en forestående hungersnød, involverede introduktionen af intensivt landbrug og herunder brugen af pesticider og kunstgødning.

Og ikke mindst involverede det udviklingen af højtydende plantesorter. Udfordringen var, at man ofte ikke kunne finde den genetiske variation i arten selv, der muliggjorde de nødvendige fremskridt vha. krydsning. Disse sorter blev – og bliver den dag i dag – udviklet ved, at man kunstigt frembringer genetiske ændringer, dvs. genetisk variation, arten ikke besidder fra naturens hånd. Opdagelsen i 1940'erne af, at man kan ændre på levende organismers arvmasse ved fx at bestråle dem med en radioaktiv kilde, åbnede for, at man kunne frembringe planter med tilfældige mutationer, såkaldt mutagenese.

Mutagenese kan afstedkomme tusindvis af tilfældige mutationer og udgør på den måde en slags "upræcis genmodifikation". Langt de fleste mutationer er dårlige, både for plantens evne til at overleve i naturen og som afgrødeplanter. Når man identifi-

<sup>4</sup> Læs mere i Brinch-Petersen m.fl. "Vidensyntese om nye planteforædlingsteknikker og deres effekt på dansk landbrug". Aarhus Universitet, 2018



**”DEN GRØNNE REVOLUTION”** reddede især asiatiske lande som Kina og Indien fra en forestående hungersnød med introduktionen af intensivt landbrug, herunder brugen af pesticider og kunstgødning.

slægtet sort, fx fra en vild gulerod til en kommerciel gulerod. Selvom man i sådanne tilfælde ville kunne overføre et vigtigt gen ”naturligt” via krydsningsforædling, kan man ved alene at overføre det brugbare gen undgå at blande den vilde (og dermed lavtydende) gulerods gener med den kommercielle variants. Den vigtige fordel er, at man dermed kan undgå de mange runder med tilbagekrydsning. Man regner med, at forædlingstiden på den måde kan halveres fra 12-16 år til 6-8 år.<sup>6</sup>

Endelig kan man vha. genmodifikation foretage ændringer i egenskaber uden at indsætte et nyt gen, som det fremgik oven for. Det har vist sig, at langt flertallet af de ændringer, der via udvælgelse, krydsninger og evt. mutagenese har ført til, at vi i dag har højtydende afgrøder, er funktionstabs-mutationer (”loss of function” – se oven for om domesticeringsgener). Nye egenskaber er altså her opstået ved, at bestemte gener er blevet deaktiveret.

CRISPR-teknikken bruges i planter primært til det sidstnævnte, hvor der ikke indføres nyt genetisk materiale, men gør det på en mere kontrolleret måde. Derfor bruger mange udtrykket ”genetisk editering” eller ”præcisionsmutagenese” fremfor ”genetisk modifikation”, når de taler om ændringer frembragt med CRISPR.<sup>7</sup> Neden for skal vi se nærmere på de mulige risici ved teknikken.

cerer en attraktiv egenskab/mutation, må man derfor i gang med mange runder tilbagekrydsning. Man krydser mutant-planten med højtydende sorter og udvælger det afkom, der har bevaret det attraktive træk men så vidt muligt ikke har arvet de mange dårlige mutationer. Også denne metode er altså normalt tidskrævende og kan slæbe en del dårlige gener med sig, hvorfor interessen for den faldt for mange år siden (se dog neden for om *tilling*).

#### 2.4.3 Bioteknologisk forædling - trans-/cisgen modifikation og præcisionsmutagenese

I over 30 år har man kunnet modificere levende organismer genetisk, og ca. 13 % af det samlede globale landbrugsareal dyrkes i dag med genetisk modificerede afgrøder (GMO).<sup>5</sup> En stor del af disse er ”transgene”, dvs. man har indsat et helt nyt gen fra en anden art i planten. Det gælder fx de mange sorter af majs, soja, bomuld, m.m., der er resistente over for ukrudtsmidlet roundup. De har fået overført et gen fra en bakterie, der gør, at de overlever, når man sprøjter en mark med ukrudtsmidlet, som får alle andre og herunder ukrudtsplanterne til at visne.

Man kan på samme måde foretage såkaldt cis-gen modifikation, hvor man overfører et gen fra en be-

#### 2.4.4 Screeningsværktøjer – MAS og NGS

Brugen af bioteknologi til at undersøge, hvordan gener/egenskaber ændres under et forædlingsarbejde, er i dag meget vigtig i både konventionel og bioteknologisk forædling. Man har længe anvendt såkaldt marker-assisted selection (MAS)<sup>8</sup>, og med en rivende udvikling inden for genetisk sekventering (next generation sequencing, NGS)<sup>9</sup> er det i dag muligt at genetisk kortlægge afgrøden både før og efter forædlingsforsøget. Dermed kan man screene for tilsigtede og utilsigtede ændringer, og sammenligne med de fremkomne fænotyper. Teknikkerne kan på den måde både øge sikkerheden og forkorte forædlingstiden markant.

<sup>5</sup> Se kapitel 1

<sup>6</sup> Kurt Hjortsholm, Mogens Koktvedgaard, Peter Krogstrup: planteforædling i Den Store Danske, Gyldendal. Hentet 30. oktober 2018 fra <http://denstoredanske.dk>

<sup>7</sup> [https://lbst.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Styrelsen/Moed\\_os/Orienteringspapir\\_Teknikker\\_Ver\\_2.pdf](https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Styrelsen/Moed_os/Orienteringspapir_Teknikker_Ver_2.pdf)

<sup>8</sup> Læs mere på: <http://www.etiskraad.dk/etiske-temaer/natur-klima-og-foedevarer/undervisning-til-gymnasieskolen/gmo/teknikker>

<sup>9</sup> Læs mere på: <http://www.etiskraad.dk/etiske-temaer/gentechnologi/undervisning-til-gymnasieskolen/genom-undersogelser>

Genetisk kortlægning har muliggjort en teknik, der vinder frem i disse år, såkaldt Tilling.<sup>10</sup> Idéen er, at man underkaster frø mutagenese og vha. NGS screener for mutationer, der kan sammenholdes med fænotypiske træk, fx udbytte. På den måde kan man på meget kort tid tilvejebringe en hvilken som helst mutation<sup>11</sup>, der er brug for i forædlingsarbejdet (men man får desuden en masse mutationer, hvis betydning ikke kendes). Der er altså tale om en videreudvikling af kemisk mutagenese. Hvis man alene screener for brugbare eksisterende genvarianter og ikke bruger mutagenese, kaldes teknikken *ecoTilling*.

## **2.5 Er usikkerhed og risici ved editering anderledes end for de øvrige forædlingsteknikker?**

Introduktionen af gen-editering har ligesom introduktionen af transgen modifikation i 1990'erne medført en diskussion om risici – og måske især af uventede konsekvenser, dvs. hvad man kunne kalde for "ukendt usikkerhed".<sup>12</sup> Editering er en relativt ny teknik, som man derfor har begrænset erfaring med at dyrke. I udgangspunktet gør det denne teknik mere usikker end fx mutagenese. Som vi skal se i det følgende, er det dog vanskeligt at pege på forhold ved editering, der giver grund til at tro, at den skulle være mere usikker eller risikabel end andre forædlingsteknikker, tvært imod.

### **2.5.1 Usikkerhed**

En kritik har gået på, at genmodifikation fx medfører uforudsete forandringer i andre egenskaber end den, man ville ændre. Det kan skyldes såkaldt pleiotropi, dvs. at et gen har betydning for mere end én egenskab. Sådanne uventede effekter finder dog også sted i konventionel forædling.

Det kan også skyldes såkaldte off-target mutationer, som skyldes, at CRISPR-komplekset foretager mutationer andre steder end det planlagte, især hvis guide-RNA er designet upræcist. Dette kan være et problem, hvis man bruger CRISPR på mennesker (læs mere på [www.etiskraad.dk/crispr](http://www.etiskraad.dk/crispr)), men med planter kan man løse dette problem ved tilbagekrydsning. Man kan desuden med grundig sekventering undersøge minutiøst, om der er sket offtarget

mutationer. I forsøget med re-domestering af tomat nævnt oven for fandt man ingen. Selv hvis der var få, skal man huske på, at der også hele tiden sker mutationer, fx når celler deler sig.

Det også svært at se, hvorfor der på den ene side er stor accept af kemisk mutagenese, som typisk indfører op til mere end tusind mutationer med ukendt virkning. Mens de få mutationer, editering laver, på den anden side medfører meget omfattende krav til risikovurdering.

### **2.5.2 Risici<sup>13</sup>**

En mere kontrolleret modifikation indført med genmodifikation må derfor, sammenlignet med kemisk mutagenese, antagelig betyde mindre usikkerhed. Det er dog ikke ensbetydende med en garanti imod særlige risici.

#### **2.5.2.1 Sundhedsrisici**

Uanset om man forædler planter på den ene eller anden måde, vil man undersøge den nye afgrøde for stoffer, der er potentielt sundhedsskadelige. Mange af vores fødevarer indeholder giftstoffer i små mængder, og disse kan, som følge af en genetisk ændring utilsigtet være blevet genetisk opjusteret. I GMO'ernes barndom frygtede man desuden, at genetiske ændringer kunne gøre planten mere allergifremkaldende. Formentlig ville dette blive opdaget under de tests, der udføres forud for godkendelse, men alle tests efterlader en usikkerhed, hvis størrelse man først kender, når teknologien har været afprøvet i virkeligheden.

Det gælder vel at mærke alle former for forædling. Derfor er spørgsmålet, om genmodifikation kan antages at medføre en større risiko end de forædlings-teknologier, der allerede benyttes?

Efter 30 år med GMO-dyrkning på nu 13 % af de globale landbrugsarealer er der fremkommet et enkelt dokumenteret eksempel. Overførslen af et gen fra paranød til soya viste sig at overføre et allergifremkaldende protein. Det blev dog opdaget, før soyaen blev kommercielt tilgængelig. Det er et eksempel på, at der kan være særlige risici ved transgen modifikation, men også på, at man faktisk var opmærk-

10 Se afsnit 2.7. i <http://web.agrsci.dk/difpublikation/index.asp?action=show&id=1270>

11 Alene såkaldte loss of function mutationer, der beskrives nærmere neden for

12 Læs mere her: [https://bst.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Styrelsen/Moed\\_os/Orienteringspapir\\_Risiko\\_ver\\_2.pdf](https://bst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Styrelsen/Moed_os/Orienteringspapir_Risiko_ver_2.pdf)

13 Læs mere om risikovurdering af GMO på EU-kommissionens hjemmeside: [https://ec.europa.eu/food/plant/gmo/authorisation/cultivation\\_en](https://ec.europa.eu/food/plant/gmo/authorisation/cultivation_en)





som på dette og fik afgrøden stoppet. Også nyudviklede konventionelle afgrøder må nogle gange afvises pga. for højt indhold af sundhedsskadelige stoffer. Genmodifikation kan som nævnt også bruges til at udvikle mere sunde fødevarer, fx med flere antioxidanter eller færre giftstoffer.

Man kan indvende, at de aktuelt dyrkede GMO'er består af et fåtal af GM-varianter; man kan med andre ord godt forestille sig en fremtidig GMO, der er allergifremkaldende. På samme måde kan nye "naturlige" (fx vilde) planter, der bruges til fødevarer- eller helseformål indebære sådan en risiko. Der er dog intet, der tyder på, at risikoen er større ved genmodifikation.

Genetisk knock-out vha. editering betyder ligefrem, at et protein ikke syntetiseres og føjer altså ikke nye proteiner til. Faren for at editering frembringer nye allergener – som normalt skyldes et immunrespons på bestemte proteiner – må derfor anses for at være lille.

#### 2.5.2.2 Økologiske risici

##### **Brugen af gift i naturen**

I udgangspunktet er udfordringen med de GMO'er, der aktuelt dyrkes, at mange af dem viderefører en omfattende brug af pesticider. Såkaldte Bt-planter har fået indsat et gen fra bakterien *Bacillus thuringiensis* som gør, at specifikke skadedyr dør af at spise af planterne. De er ikke markant bedre eller værre på dette punkt end andre konventionelt dyrkede af-

grøder<sup>14</sup>, men økologiske afgrøder er på dette punkt bedre for naturen. Det er dog værd at bemærke, at de editerede afgrøder, der er i fokus her, netop ser ud til at kunne begrænse brugen af naturskadelige stoffer som pesticider og samtidig fremmer en mere intensiv produktion, der alt andet lige begrænser klimapåvirkningen.

##### **Invasive planter**

En anden hovedbekymring har været, at genmodificerede planter rummer gener, der kan gøre planterne til en form for superukrudt, der giver problemer for naturen og/eller landmanden, idet den breder sig på bekostning af andre planter. Kæmpebjørneklo og dræbersnegl er eksempler på sådanne "invasive arter" (uden dog at være genmodificerede).

I udgangspunktet er det usandsynligt, at planter med ødelagte gener, eller planter, som gennem forædling er blevet udvalgt efter deres udbytte, har bevaret evnen til at overleve i den benhårde konkurrence, som findes mellem arterne i naturen. Her er grundloven, at de mindst egnede forsvinder. Når man ødelægger gener, planterne normalt kun har, fordi de medvirker til (eller ikke modarbejder) dens overlevelse, må man tro, at de ville være alvorligt svækkede. En almindelig erfaring er da også, at vores afgrødeplanter er nogle "skravl", der kun kan klare sig i den "kuvøse", marken eller drivhuset udgør. Det er bl.a. derfor, de er så plejekrævende. Studier har dog vist, at selv sådanne skravl nogle gange kan danne hybrider med vilde slægtin-

<sup>14</sup> Læs fx Det Etske Råds redegørelse om mærkning af GMO: <http://www.etiskraad.dk/~media/Etisk-Raad/Etske-Temaer/Natur-klima-og-foedevare/Publicationer/2016-Den-etiske-forbruger.pdf>

ge, der vokser uden for marken og kan leve længe nok til at danne pollen. Dermed kan en såkaldt introgressionsproces indledes, der ender med, at populationen af vilde slægtninge uden for marken har inkorporeret transgenet/mutationen, men har frasortet alle de dårlige gener fra afgrødeplanten. Hvis dette kan forbedre den vilde plantes overlevelse, kan den i teorien blive invasiv, dvs. brede sig på andre arters bekostning.

I sådanne tilfælde er spørgsmålet ikke, om afgrøden selv ville blive invasiv, men om den pågældende mutation ville gøre den vilde slægtning invasiv. Normalt fører tab af gener (domesticerings-mutationer) til tab i konkurrenceevne, men ikke altid. Visse proteiner danner fx basis for, at skadelige organismer kan inficere planten, og tabet af sådanne kunne udgøre en fordel for planten. Det er dog værd at bemærke, at knockouts af denne slags minder om de forandringer, almindeligt sollys kan forårsage. Var forandringerne til overvældende fordel for planten, ville de formentlig være udbredte allerede.

### **Invasivitet og domesticering/re-domesticering**

Afgrøder som kartoffel og tomat har slet ingen vilde slægtninge i Danmark, og så længe det er sådan, kan introgression ikke finde sted.

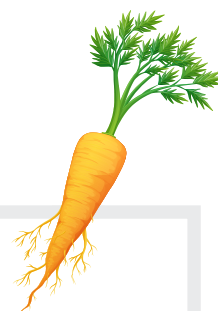
Hvis der er tale om domesticering eller re-domesticering, ville de gode overlevelsessevner snarere komme fra planten selv end fra de ændrede gener. Mange af de problemer med invasive arter, vi ser i dag, skyldes, at en vild art er indført. Det kan fx skyl-

des, at de på den måde undslipper deres naturlige fjender, som findes på deres oprindelige voksested.

Samlet set kan man forestille sig en lille ekstra risiko for invasivitet ved at dyrke vilde planter med domesticeringsgener (hvis mutationen medfører bedre konkurrenceevne). Det er dog mere sandsynligt, at en eventuel risiko skyldes, at man dyrker "naturlige" planter fra fremmede egne, hvad enten de er editerede/genmodificerede eller ej (hvis de har naturligt høj konkurrenceevne).

Det peger på, at (re-)domesticering er økologisk lidt mere risikabelt end traditionel genmodifikation af højt forædlede afgrøder. Betingelsen for, at de kan klare sig med færre pesticider m.m., er netop, at de er mere levedygtige. En mutation, der fx medfører skadedyrsresistens, kan måske ændre på den vilde slægtnings overlevelse. Hvis der fx fremavles stærkt fordelagtige træk i en plante, der selv på forhånd er kendt som en genstridig ukrudtstype et andet sted i verden, bør risici naturligvis undersøges nærmere. Risikoen for økologiske skader må dog selv her generelt antages at være meget lille sammenlignet med de dokumenterede forstyrrelser af økosystemer, som følger af fx land-/skovbrug generelt, fragmentering af naturområder og ikke mindst klimaforandringer.

■



### **Opgave**

Du skal "re-domesticere" en afgrøde, så den kan yde højt men med reduceret brug af gødning og pesticider.

- Vælg fx gulerod, sukkerroe, raps eller majs
- Hvad taler for og imod at bruge henholdsvis krydsning, kemisk mutagenese og genteknologi?
- Hvad skal man være opmærksom på, når man skal risikovurdere den nye editerede afgrøde? - stil spørgsmålene op og prøv eventuelt på at besvare dem ved fx at læse om vilde og forædlede varianter

### 3. Interview med genetiker, Thomas Didion

**Thomas Didion** er genetiker og ansat på virksomheden DLF Trifolium, en internationalt førende producent af græsfrø, hvor man forsker i forædling af græs.

Thomas Didion har blandt andet arbejdet med genetisk modifikation af græsser med sigte på at forbedre deres kvalitet og udbytte. I nogle tilfælde har det også givet ophav til græsser med egenskaber, der ser ud til at kunne tackle nogle af de klimaudfordringer, som ikke mindst landmænd globalt set i stigende grad vil blive stillet over for.



THOMAS DIDION

Blandt andet kan man ved hjælp af genmodifikation frembringe fodergræs, der er nemmere for køer at fordøje, så de udleder mindre af den kraftige drivhusgas metan; og så græsset nemmere kan omdannes til biobrændstof til erstatning for fossile brændsler. Thomas Didion deltager også i et internationalt forskningsprojekt, der går ud på at optimere græsser ved hjælp af genteknologi.

#### HER KAN DU LÆSE OM...

Dette interview handler om brugen af transgen modifikation – dvs. overførsel af nye gener til afgrødeplanter – og det handler om at udvikle planter, der er gode som biobrændsel. Processen er dog grundlæggende den samme som ved editering, og interviewet viser derfor, hvordan udvikling af genmodificerede planter foregår i laboratoriet.

Interviewet består af fire afsnit:

1. Genmodifikation vs. traditionel forædling
2. Forskningsprojektet
3. Nye gener i planterne
4. Fremtiden for GMO



### 3.1 Genmodifikation vs. traditionel forædling

*Hvad er det særlige ved genmodifikation i forhold til traditionel forædling?*

**Thomas Didion:** Traditionel forædling af græsser er ret besværlig, og man bruger mange kræfter og meget tid på at udvikle bedre sorter. Ved hjælp af genteknologi kan man mere præcist og målrettet forbedre græsserne, og derfor var vores virksomhed selvfølgelig interesseret i at tage teknologien i brug.

*Hvad er formålet med jeres forædlingsaktiviteter?*

**Thomas Didion:** Vores formål er at udvikle græsser med højere udbytte, så landmændene får mere ud af marken. Mere græs betyder, at landmanden fx kan fermstille mere mælk eller kød på samme areal.

I fremtiden kan det blive presserende at finde frem til græssorter, der kan modstå klimaforandringerne. Problemet med almindelig græsforædling er, at det tager minimum 15 år, før man opnår en ny sort med en forbedret egenskab. Så hvis jeg starter i dag, kan jeg først sælge en ny, forbedret græssort 15 år ude i fremtiden. Der kan det være for sent. Man kan gøre det lidt hurtigere og mere præcist ved hjælp

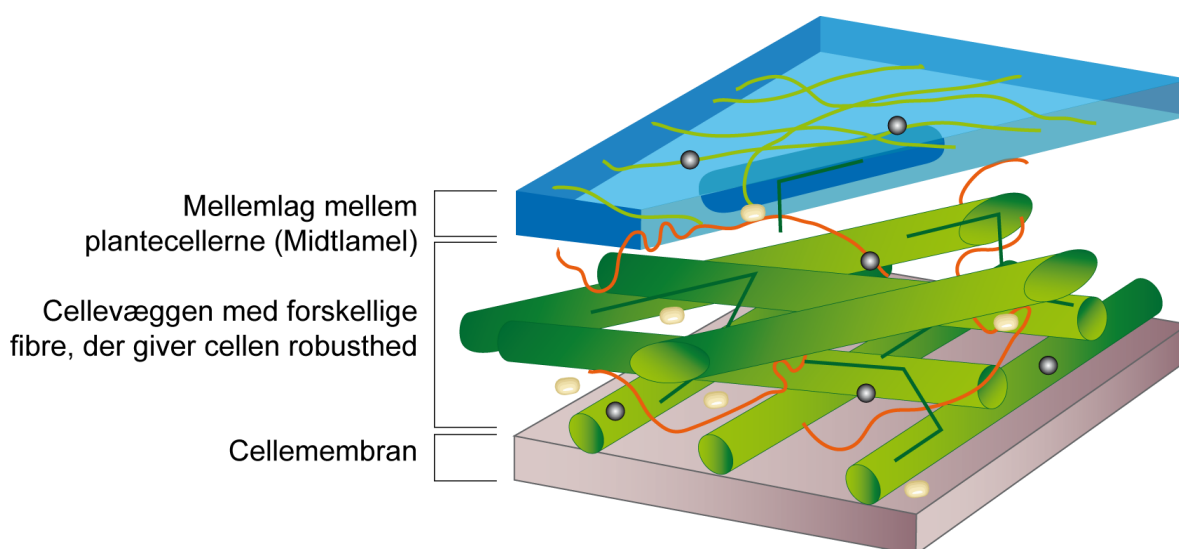
af genmodifikation – dog ikke med de nuværende lovkrav til risikovurdering, som gør det svært for en virksomhed som vores at bruge genteknologi til udvikling af nye produkter.

### 3.2 Forskningsprojektet

*Hvad er idéen i jeres forskningsprojekt?*

**Thomas Didion:** Vi er med i et europæisk forskningsprojekt, hvor vi forsøger at fremavle græssorter, der lettere kan fordøjes af køer. Derved kan de måske producere mere mælk eller kød, fordi køerne kan optage mere af energien i foderet. Men en anden konsekvens kan være, at de udleder mindre metan (en drivhusgas der er 25 gange kraftigere som drivhusgas end CO<sub>2</sub>) fra deres fordøjelse.

Samtidig er der ved at opstå et nyt marked for bio-brændsel, hvor man forsøger at erstatte fossile brændsler med energi udvundet fra afgrøder som fx græs. Det ville være godt for klimaet, hvis vi kunne erstatte en del af olien og de fossile brændsler med biobrændsler, fordi græs og andre planter er fornyelige. Det skal forstås sådan, at planterne optager CO<sub>2</sub> fra luften, når de vokser op, i samme mængde, som de afgiver, når de afbrændes – de er CO<sub>2</sub>-neutrale.



**FIGUR 1: CELLEVÆGGEN**

De enkelte plantecellers celle væg er det, der giver planter den stivhed, der skal til, for at de kan stå oprejst. Det er fx celle vægge, man brænder af, når man smider en brændeknude i brændeovnen, og som man laver møbler af.



Hvis man hele tiden genplanter, vil den CO<sub>2</sub>, der udskilles, blive optaget igen af de nye planter.

Også her er cellevæggens genstridighed et problem, for man kan ikke på nuværende tidspunkt få tilstrækkelig med bioetanol ud af planterne til, at produktionen kan konkurrere prismæssigt. Etanolen skal udvindes ved, at man omsætter plantens fibre til suktermolekyler, som mikroorganismer kan lave om til sprit såsom etanol.

Cellevæggen er opbygget af forskellige strukturer, blandt andet cellulosefibre, der består af lange kæder - polymerer - af suktermolekyler, og de mere genstridige polymerer hemicellulose og lignin. De forskellige polymerer ligger på kryds og tværs i cellevæggen og er bundet sammen med kemiske bindinger, så de danner et robust net.

Vores idé er at forsøge at identificere gener, der koder for enzymer, der kan bryde disse bindinger, og dermed ændre dem på en sådan måde, at cellevæggen bliver mindre genstridig. Der findes fx en klasse af enzymer, "expansiner", der bryder hydrogenbindingen mellem cellulose og hemicellulose, når cellen skal vokse. De enzymer, som generne koder for, og som sekreteres ud i apoplasten, skal efter afslutningen på plantens vækstperiode kunne aktiveres, så cellevæggen nedbrydes.

Det er lidt en farlig leg, man prøver her, for den stabile cellevæg tjener naturligvis en vigtig funktion i planter. Cellevæggen skal give struktur til planten, men den skal også beskytte imod plantesygdomme og svampe. Ligninet er den vigtigste del af cellevæggen i forhold til at holde plantesygdomme væk, for ligninkæden indeholder nogle kemiske substanser, der er giftige for mikroorganismer og svampe. Derfor er det vigtigt, at man beholder ligninet - altså, man kan ikke lave en cellevæg helt uden lignin, for så vil planten ikke rigtigt vokse mere. I forsøg, hvor man har lukket for ligninbiosyntesen, vokser planterne ikke godt, de kan ikke vokse oprejst, så de ligger der og har ikke nogen struktur og er meget modtagelige for sygdomme. Så en vigtig del er at finde den rigtige balance - dvs., man gør cellevæggen nemmere nedbrydelig, men stadig væk sådan, at den beskytter planten imod sygdomme.

Cellevæggens opbygning er variabel i forskellige planter, man finder i naturen. Man kan også ved hjælp af traditionel forædling finde frem til planter

med en lidt nemmere nedbrydelig cellevæg. Uanset teknik, er det skidt, biologisk set, at cellevæggen bliver mere nedbrydelig. Men ved hjælp af genmodifikation kunne man gøre det sådan, at cellevæggen er meget stabil igennem livsfasen af planten, men når man høster den, kunne man aktivere nogle gener, man har introduceret i GM-planten, som gør cellevæggen mere nedbrydelig. Så først i slutfasen, når planten er høstet eller i den seneste udviklingsfase, vil man aktivere de gener, som sørger for, at plantens cellevæg bliver nedbrudt. Det vil bibeholde plantens almindelige vækst ude på marken og modstand imod sygdomme. Samtidig bliver det nemmere, senere, i enten koens mave eller på bioethanol fabrikken, at bruge kulhydraterne i cellulosen til at lave ethanol eller biogas.

### 3.3 Nye gener i planterne

*Hvordan gør I, når I skal have indsat et nyt gen i en plante?*

**Thomas Didion:** I vores opsætning er udgangspunktet for transformationen et umodent plante-embryon fra græsfrø, det vil sige den del af frøet, der indeholder den befrugtede ægcelle - embryonet. Man skærer frøet op med en skalpel, isoleret planteembryonet og sætter det over på nogle næringsmedier, der er tilsat plantehormoner. Hormonerne sørger for, at cellerne ikke danner en græsplante, men en udifferentieret celleklump, en kallusklump. Cellerne er ikke specialiseret på dette stadium og ved ikke, om de er rodceller eller bladceller eller noget tredje - de vokser bare som udifferentierede celler, en slags plantestamceller. Det er sådan nogle celler, man bruger til at introducere nyt DNA i ved hjælp af Agrobacterium-transformation eller genkanon.

Agrobacterium tumefaciens har fra naturens hånd et ekstra, ringformet DNA-kromosom, et plasmid. Visse Agrobacterium-stammer har et såkaldt Ti-plasmid, hvor Ti står for "tumor inducing". Når disse bakterier lever i jord, og kommer i nærheden af nogle planterødder, så kan de via de såkaldte "vir" gener på Ti-plasmidet genkende, om det er en plante, de er interesserede i at vokse ind i. De er nu i stand til at indføre en streng af deres eget DNA i værtsplanten, som får planten til at producere en masse mad til bakterien. Bakterien er altså en slags parasit på planten.

Vi kan udnytte evnen til at overføre DNA til plan-

teceller ved at udskifte Ti-DNA'et med det DNA, vi ønsker at indsætte - det kunne fx være et eller flere gener, der gør planten mere tolerant over for tørke. Man indsætter samtidig et selektionsgen, som gør de celler, der optager DNA'et, resistente over for et bestemt herbicid. Det gør det nemt at afgøre, hvilke celler, der har optaget DNA-sekvensen, for kun disse celler overlever, når man dyrker cellerne på et næringsmedium, der også indeholder herbicid.

Efter 3 måneders selektion skifter man næringsmedium ud med et, der indeholder en anden blanding af plantehormoner. Det gør, at de udifferentierede celleklumper differentierer sig og laver blade og rødder. Gradvis skal de have større beholdere at vokse i, men herbicidpåvirkningen fastholdes, så kun de planter, der er transformeret, vokser videre.

Nu kan man være ret sikker på, at planterne er transformeret, men knap så sikre på, om transgenet også er blevet overført og fungerer, som det skal. Når planterne har vokset sig store, starter derfor en omfattende molekylær analyse, for eksempel af hvilke proteiner, cellerne udtrykker. Derefter venter et omfattende og tidskrævende arbejde med at gennemføre en risikovurdering af planten. Blandt andet skal det vurderes, om genet nedarves og udtrykkes stabilt over flere generationer og i forskellige miljøer. Så man kan sige, at selve plantetransformationen kun lige udgør starten på lanceringen af en genmodificeret plante.

### 3.4 Fremtiden for GMO

*Hvad kan man forvente, at vi kommer til at se af "klimavenlige" GMO'er inden for de kommende 20 år?*

**Thomas Didion:** Det er ikke helt enkelt at sige. I starten da vi startede med at udvikle GM-græsser, forestillede vi os nok, at det var nemmere, end det faktisk viste sig at være. Vi ledte efter gener, vi troede på, var vigtige. Dem har vi også fundet, og så har vi introduceret generne og testet græsserne, og det har fungeret fint i nogle tilfælde, men i mange andre tilfælde gjorde det ikke.

Vi troede i starten, at finder vi et vigtigt gen, der giver tørketolerance, så vil vi se et kvantespring i vores afgrøder. Men vi har måttet sande, at planter, og liv i det hele taget, er meget komplekst. Jeg ser leven-

de organismer som en stor uro. En plante har måske 30.000-50.000 gener, og de er indbyrdes forbundne som i en stor uro. Man kan altså ikke nøjes med at ændre på ét gen. Hvis jeg tager ét gen ud, eller overeksponerer det, så berører det mange andre dele, jeg skubber forskellige ligevægte, der er i planten, og resultatet er meget komplekst at forstå.

Selv om man har sekventeret visse planters genom, har vi måske kun en idé om, hvad 30 % af genernes funktion er. 70 % ved vi stadig ikke noget om, så det er et meget komplekst system, vi arbejder med, og der skal bedrives masser af forskning, før vi forstår det.

Med min viden om, hvor længe det tager at udvikle nye GM-planter, vil jeg tro, at der i de næste 20 år helt sikkert lanceres nye GM-græsser til energiformål. Det vil i første omgang blive majs [majs tilhører græs-familien, red.], fordi majs er den afgrøde, man er længst fremme med at genmodificere, og den er også nemmest at få godkendt i systemet. Så man vil helt sikkert udvikle nogle GM-energimajs allerede inden for 10-15 år. GM-planter kan godt bidrage til energiproduktion, men jeg tror, at det bliver i mindre skala – om 10-20 år kan der måske produceres 10-15 % af brændstofforbruget ved hjælp af biomasse. Det er i den forbindelse vigtigt, at fødevareproduktionen ikke formindskes som følge af benyttelsen af jord til bioenergiproduktion.

*Hvilken rolle kommer DLF Trifolium til at spille i den udvikling?*

**Thomas Didion:** Hos os her på DLF Trifolium bruger vi GM-teknologien til at verificere vigtigheden af bestemte gener for specifikke egenskaber, fx i cellevæggen, men DLF har skrinlagt planen om at markedsføre deciderede GM-græsser på grund af de omfattende risikovurderinger, planter skal igennem i Europa, før de kan godkendes til kommerciel anvendelse. GM-græsfrø kan ikke bære de omkostninger risikovurderingen og godkendelsesproceduren vil kræve i Europa og andre lande.

■

## 4. Etikinterview



MICKEY GJERRIS OG KASPER LIPPERT-RASMUSSEN på scenen ved debat om GMO, Køge Gymnasium 2010.

Vi har spurgt etikerne Mickey Gjerris og Kasper Lippert-Rasmussen om, hvorvidt vi bør bruge GMO. De to etikere har forskellige holdninger til GMO og benytter sig af forskellige former for etisk argumentation.

Hold øje med, hvilke grundsynspunkter og argumenter, der kommer til udtryk og overvej hvis argumentation, du finder mest overbevisende.

Etikinterviewet er delt op i to dele på de følgende sider:

**DEL 1: ER GMO'ER UNATURLIGE?** I første del har diskussionen omdrejningspunkt i spørgsmålet om, hvorvidt GMO'er er "unaturlige" på en etisk relevant måde.

**DEL 2: RISIKO OG NYTTE VED GMO.** Anden del handler primært om, hvordan man samfundsmæssigt bør forholde sig til den risiko og nytte, der er forbundet med GMO.

## Del 1: Er GMO'er unaturlige?

**Mickey Gjerris:** Jeg mener, at det, vi gør med GMO'er, er noget, man ikke har gjort før. Det er at blande sig i naturen på et mere detaljeret og mere præcist niveau, end vi har gjort før med den konventionelle avl. Derfor vil jeg sige, det er unaturligt, og dermed langt hen ad vejen forkert. For det er udtryk for en holdning til naturen, som jeg grundlæggende mener, er forkert, og som har bidraget meget til at bringe os ind i de problemer omkring klimaet, som man nu mener, man skal bruge GMO-teknologien til at løse.

Derfor tror jeg, at jo mere vi benytter os af teknologien, jo mere vil vi blot understrege det misforhold, vi har i øjeblikket, mellem vores indstilling til naturen som en ren ressource og så det, naturen egentlig er.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Der er vi nok uenige, for jeg ser ikke noget problem i sig selv ved GMO-organismer, ligesom jeg heller ikke ser det ved traditionel planteforædling. Jeg betragter ikke den ene teknik som mere unaturlig end den anden.

**Mickey Gjerris:** Det er klart, at der ikke er en definition på, hvornår noget præcist bliver unaturligt, det er der ikke. Man kan måske sige, at genteknologi er mere unaturlig end konventionel avl af planter på samme måde som polyester er mere unaturlig end bomuld. Du vil selvfølgelig sige, at begge dele er et resultat af menneskelig indblanding i naturen, og det er også rigtigt, på den måde falder de inden for samme kategori. Men der er en glidende overgang fra en naturlig vild plante til en genmodificeret plante i forhold til, hvor meget vi blander os i dem. Og den forskel mener jeg faktisk spiller en rolle.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Jeg forstår det sådan, at du mener, de genmodificerede organismer ligger ude i den ene ende af unaturlighedsskalaen, og at planter, som er frembragt gennem mangeårig forædling, ligger tættere på det naturlige?

**Mickey Gjerris:** Ja.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Men jeg synes, det er lidt svært at drage den sondring der, for mange af de planter, vi har i dag, er jo radikalt anderledes end dem, man startede med at avle eller forædle på for mange tusinde år siden. I princippet kunne man

godt forestille sig, at man lavede genmodificerede organismer, som fik indsat et gen fra en plante, der biologisk set ikke ligger særlig langt væk fra den. Så kunne man godt forestille sig, at den plante, der kommer ud af det, egentlig adskiller sig mindre fra det, der var det så at sige naturlige udgangspunkt, end en anden plante, der efter flere tusinde års konventionel forædling nu er blevet radikalt anderledes end det, man startede med. Altså ligesom mange hunderacer ser radikalt anderledes ud end de ulve, som de oprindeligt kom fra.

Så jeg er skeptisk over for det her med unaturlighed, om det spiller nogen rolle. Men selvom jeg ikke kan se, der er noget særligt unaturligt eller forkert ved at bruge GMO, så kan der jo godt være det, vi kunne kalde instrumentelle overvejelser omkring, hvorvidt vi skal bruge det. Altså hvilke konsekvenser vil det få at bruge GMO, tjener det et godt formål, er der nogle risici knyttet til det, og kan det hjælpe på alvorlige problemer som for eksempel den globale opvarmning.

Men jeg går også ud fra, at du vil mene, at hvis vi for eksempel kan løse verdens sultproblemer, så skal vi bruge GMO, selv om der i sig selv er noget forkert ved at bruge dem?

**Mickey Gjerris:** Ja, hvis vi faktisk står i en situation med klimaforandringer, hvor forholdene for planterne kommer til at ændre sig hurtigere, end de måske genetisk kan nå at følge med, og de her teknologier måske er den eneste måde at opretholde en fødevarer sikkerhed på. Så vil jeg nok sige, at det er så et af de tilfælde, hvor vi kan sige, jamen så må vi lægge den der naturlighedsdiskussion til side og sige, den var væsentlig, men det her er vigtigere.

I det omfang vi kan løse nogle alvorlige problemer, så lad os da bruge teknologien. Så kan jeg sidde og have mine samvittigheds kvaler, dem kan du så være fri for. Men fordi jeg har et problem med bioteknologien generelt, synes jeg kun, vi skal bruge den, hvis det er meget nødvendigt, og det mener jeg faktisk ikke, det er her. Jeg mener faktisk ikke, det er den rigtige strategi til at løse hverken klima- eller sultproblemerne.

Den her teknologi er efter min mening afsindig overvurderet. Vi nu har haft den i omkring 40 år, og den



har på ingen måde levet op til alle de løfter, den har givet. Nu er vi allerede begyndt at tale om 2. generationsplanter, der skal kunne løse nogle alvorlige problemer. Men de er ikke engang blevet færdige med at lave 1. generationsplanter, som tydeligvis ikke løser nogen alvorlige problemer. Derfor siger jeg, så lad os prøve at se på alle de andre løsningsmodeller, der er, og bruge dem.

Det er jo et etisk valg, vi står i nu, nemlig om vi vil benytte os af den teknologi – hvis den virker, vi ved det ikke. Men lad os nu antage, at det lykkes at lave en genmodificeret plante, der faktisk kan bruges til at nedsætte udviklingen af metangas hos drøvtyggere. Metan er jo en stærk drivhusgas, som drøvtyggerne udskiller. Så kan vi vælge at bruge en masse penge på sådan en plante, eller vi kan vælge at gøre det, som ligger lige for, nemlig at sænke antallet af drøvtyggere. Problemet er jo, vi har alt for mange drøvtyggere, fordi vi drikker alt for meget mælk, og vi spiser alt for meget kød. Dyrene har det allerede elendigt nu, og det skaber en masse klimaproblemer. Desuden skaber det sundhedsproblemer, fordi vi bliver for fede og overvægtige og skal bruge mange penge på hjerte-karsygdomme.

Så der er to løsninger. Den ene er at skære ned på vores kødforbrug, og den anden er at lave nogle planter, så vi kan fortsætte med at forurene og blive syge og fede, men opretholde et enormt højt forbrug af animalske proteiner ved at lave de her genmodificerede planter. Det er så et etisk valg, om man siger, jamen jeg vil gå ind for, at vi skal prøve at få en kultur, hvor vi løser problemerne ved at sænke kødforbruget og ressourceforbruget.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Men det er så igen måske et område, hvor det gør en forskel, om man mener, at det er et problem i sig selv at bruge de her teknologier eller ikke. For jeg ser det ikke som et enten-eller, altså jeg ser det sådan, at vi kan bruge de her teknologier, hvis de udgør den bedste løsning på problemet.

Hvis vi for eksempel tager global opvarmning, så kan vi jo, som du siger, gøre en masse ting ved global opvarmning, men de fleste af de ting må vi desværre nok sige, det kommer bare ikke til at ske. Det er vanskeligt at forestille sig, at det ville være politisk muligt, at vi i Danmark besluttede at holde

op med at køre i biler, men selv hvis det skete, ville det ikke betyde så meget globalt set. Hvis det skulle gøre en forskel, skulle vi have et globalt stop for privatbilisme, der fx også involverer Kina og USA, og det er endnu sværere at forestille sig.

Formentlig er problemets omfang endda så stort, så selv hvis vi gør en masse af de ting, det kan virke ret urealistisk at tro, vi faktisk vil gøre, så er vi også nødt til at overveje for eksempel at bruge GMO-planter til at reducere mængden af drivhusgasser, som kørerne udleder.

Der findes jo rigtig mange mennesker i verden, som økonomisk set befinder sig på et langt lavere niveau, end vi befinder os på. Hvis man så forestiller sig, at vi fik alle i verden – og vi er i dag 6 mia., men om ikke så mange år er vi 9 mia. – bragt op på et rimelig anstændigt levestandard. Så vil det vel være sådan, at selv om vi i den velhavende del af verden nedbragte vores forbrug ganske betragteligt, også langt mere end det ville være realistisk at håbe på faktisk sker, så ville vi vel få en belastning af klodens økosystem, som var større end i dag og langt større end det, som kloden faktisk kan bære.

Så for mig er det ikke noget enten/eller, for situationen er den, at vi står over for nogle meget store problemer, og formentlig kan vi ikke løse den globale opvarmning ved et eller andet simpelt tiltag, der skal formentlig gøres rigtig mange forskellige ting.

Og der vil jeg godt kunne se en rolle for GMO'er, selv om du og jeg ikke er uenige om, at der er masser af andre ting, vi også kunne gøre. Det er lidt som, hvis jeg ønsker at tabe mig, og jeg så får at vide, at valget står mellem enten at spise mindre eller bevæge mig noget mere. Så vil jeg nok sige, det var et dårligt råd, jeg fik der, fordi et bedre råd ville være, at jeg skulle gøre begge dele.

**Mickey Gjerris:** Ja vi ser nok forskelligt på, hvad der er realistisk. Men det er trods alt lykkedes os på relativt kort tid at gå fra at have et samfund, der naturmæssigt var relativt bæredygtigt, til den situation vi er i nu med et sindssygt overforbrug. Jeg mener ikke, det er urealistisk at forestille sig, at vi kunne vende den på hovedet og forestille os en kultur, der indså, at det spor, den har bevæget sig ud af, er sådan set ikke noget, der er holdbart rent livsgrund-

lagsmæssigt – men for øvrigt heller ikke noget, der har bibragt folk særlig meget lykke.

Det handler dybest set om, hvad er det for nogle bil-  
leder, vi har af, hvad er det gode liv. Hvis vi kunne  
ændre forståelsen af, hvad det gode liv er, så folk  
havde nogle andre ting, som de ville mene var vigtig-  
e for at få et godt liv, så ville jeg påstå, det var me-  
get realistisk, at vi kunne løse mange af problemerne,  
uden at begive os ud i de her genteknologiske  
eventyr med planter.

## **Del 2: Risiko og nytte ved GMO**

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Jeg mener, at det er  
vigtigt at være opmærksom på, at en GMO kan være  
risikabel på mange måder. Den kan jo være risika-  
bel, men ikke i den forstand, at man bliver syg af  
den, så på den måde skal man ikke kun se på den  
fysiske risiko.

**Mickey Gjerris:** Problemet er, at kun hvis det er far-  
ligt for nogen, kan vi forbyde de her planter. Det be-  
tyder, at en meget stor del af modstanden mod GMO  
har folk været nødt til at oversætte til en eller anden  
form for risiko. Der er ikke meget, der tyder på, at  
GMO'er er farlige i betydningen risikable at spise,  
men ikke desto mindre har diskussionen været nødt  
til at handle om det. Jeg har fx en naturlighedsdags-  
orden, jeg gerne vil slå på, og den er enormt svær  
at få plads til i den her diskussion. Så derfor kan jeg  
føle mig nødsaget til at oversætte det til en eller an-  
den form for videnskabelig risiko, for ellers bliver  
jeg ikke taget alvorligt.

Vi kan ikke forbyde noget alene på grundlag af, at  
det ikke er helt sikkert. Så skulle vi jo også forbyde  
biler. Vi bliver nødt til at sige, at det er, fordi det går  
imod nogle værdier, vi har. Det kan så være naturlig-  
hed – fordi vi har et andet natursyn.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** På trods af, at alle un-  
dersøgelser måske viser, at der ikke er nogen risici  
knyttet til GMO, føler et flertal i befolkningen sig mås-  
ke ikke overbevist om, at det faktisk forholder sig  
på den måde. Eller måske har de nogle helt andre  
indvendinger mod GMO'er. Derfor ville det ikke være  
et demokratisk problem, hvis Folketinget beslutte-  
de at forbyde GMO. Men hvis det ellers er sådan, at  
vi kan bruge de her planter til at løse nogle væsentli-  
ge problemer, kan man stadigvæk fastholde, at mo-

ralsk set burde vi ikke forbyde dem.

**Mickey Gjerris:** Men vi skal være åbne om, hvad det  
egentlig er, der gør, at vi har en modstand mod den  
her teknik - så vi ikke ender i en eller anden underlig  
diskussion om risiko, som så ikke handler om risi-  
ko alligevel. For så kan jeg godt forstå, at dem, der  
laver risikoforskning, bliver enormt frustrerede. Alle  
de undersøgelser, de laver, viser, at det her ikke er  
farligt - og så får de bare at vide, nå men det stoler  
vi ikke på - det er jo ikke en måde at diskutere på.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Ja, noget af befolk-  
ningens skepsis over for risikovurderinger – for ek-  
sempel deres frygt for, at GMO'er er risikable - kan  
jo afspejle, at folk er dårligt informeret; ligesom når  
folk bare tror, at det kun er genmodificerede plan-  
ter, der indeholder gener i planten. Men det kunne  
også afspejle, at de simpelt hen er uenige i nogle af  
de værdimæssige vurderinger, der ligger til grund  
for de her risikovurderinger.

Derfor er det demokratisk set godt, at man spørger  
folk, hvad de mener, så der ikke er for stor uover-  
ensstemmelse mellem lovgivningen og så de hold-  
ninger, folk har. Men demokratisk set ville det være  
endnu bedre, hvis det så var meget kvalificerede  
holdninger, folk havde til de her spørgsmål.

**Mickey Gjerris:** Det er nu ikke helt enkelt at afgøre,  
hvad der er en "kvalificeret holdning". Hvis uenig-  
heden om GMO handlede om, hvorvidt det er fysisk  
farligt eller ej, ville det selvfølgelig være nødvendigt  
at have en vis viden for at kunne vurdere risikoen.  
Men hvis uenigheden fx går på, at du mener, at GMO  
er unaturligt, eller du mener, at GMO krænker natu-  
rens integritet - eller hvad det kunne være for værdi-  
er, du havde - så er den viden jo ikke særlig nødven-  
dig. Så kræves der meget lidt viden om genteknologi  
for at kunne sige, at det bryder jeg mig ikke om, nej  
tak. Ud fra de undersøgelser jeg kender, er der ikke  
noget der tyder på, at hvis folk vidste mere om GMO,  
ville de også være mere positive.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Men det er ikke nok  
at se på nytte og risici ved at bruge en GMO – man  
må også se på fordele og risici ved at undlade at an-  
vende dem. Hvis man nu står med en GMO, som kan  
modvirke udledningen af drivhusgasser, skal man  
også kigge på, at der allerede er nogle risici, som

vi lever med, fx den risiko, der er knyttet til global opvarmning. Det kan jo godt være, at ved at bruge sådan en GMO, bliver vi udsat for nogle nye risici. Men omvendt kan det måske være, at det reducerer nogle andre risici, som vi allerede er udsat for - som fx de risici, som knytter sig til klimaforandringerne.

Så når vi bruger ny teknologi, så skal vi jo ideelt set lave en samlet risikovurdering og ikke bare se isoleret på konsekvenser af ny teknologi.

**Mickey Gjerris:** Ja, og der vil jeg tilføje, at man samtidig skulle spørge, hvilken risiko der er ved de alternative løsninger, der kunne være. Men jeg er meget enig med dig i, at man aldrig løser et problem uden at skabe nogle nye - sådan er det med teknologi. Vi fik løst en masse problemer, da vi lavede bilen, men vi fik også skabt en masse nye. Sådan er det, og man kan ikke forudsige dem; nogle af dem kan man forudsige, og dem kan man forsøge at gardere sig imod. I andre tilfælde må man sige, at der er bare uforudsete bivirkninger ved alt. Det er også farligt at få en kæreste, der kan ske mange ting, men man lader jo ikke være af den grund, bare fordi man tænker, nå men jeg ved da, hvad der sker, når jeg spiser popcorn og drikker cola foran fjernsynet.

Samtidig er det vigtigt at være opmærksom på, at tingene hænger sammen. Hvis man har en teknologi, der kan løse en masse problemer, man står med, og som er meget kraftfuld, meget potent - og sådan er denne teknologi blevet fremstillet - så skal man nok også være forberedt på, at de bivirkninger, der kommer, kan være tilsvarende store. Derfor er der grund til at træde lidt mere varsomt med denne her teknologi end ved så mange andre. Jo mere kraftfuld en hammer, vi står med, jo mere forsigtige skal vi også være, når vi slår med den. Det betyder ikke, at vi skal lade være med at slå, men vi skal måske tænke os om en ekstra gang. Det kunne være sådan et forsigtighedsprincip at lægge ned over det.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Men hvis man tænkte over det, så er det måske egentlig lidt svært at begrunde, at vi stiller det krav til nye teknologier - for hvorfor bør vi så egentlig ikke stille det samme krav til de teknologier, vi allerede anvender? Mange af de teknologier, vi anvender i dag, er der en masse risici knyttet til, privatbilisme er jo et eksempel. Hvis vi anlagde samme strenge vurdering af risici, som når

vi ser på nye teknologier, ville bilkørsel måske blive forbudt.

**Mickey Gjerris:** Ja, vi accepterer meget af ren vane. Men hvis det lykkes at udvikle en GMO, der vil løse nogle alvorlige problemer, såsom sultproblemer for verdens fattigste, og vi ikke kan løse dem på andre måder, så accepterer jeg blankt at vi gør det.

Derudover synes jeg, at genteknologi er et meget godt eksempel på, at det nok ikke er dyr teknologi, der skal løse de fattige menneskers problemer her i verden - det har det i hvert fald ikke været indtil videre. Der har du jo haft nogle meget store virksomheder, som - i det omfang de overhovedet har produceret planter, der kan bruges i de lande - har gjort det med deres egne aktionærer for øje, og det har ikke hjulpet de mennesker, der burde have haft hjælp.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Det viser måske samtidig, at overvejelser om GMO er stillet på et alt for generelt plan. Det vi skal gøre er måske i virkeligheden at sige, jamen der findes masser af forskellige GMO-planter, og det her spørgsmål skal stilles om hver enkelt plante i stedet for om GMO som sådan. Der er måske nogle, hvor svaret vil være ja, og der er andre, hvor svaret vil være nej.

**Mickey Gjerris:** Men det er altså ikke genteknologien, der skal løse ulandenenes problemer. Det er dels et politisk spørgsmål, og det er dels et uddannelsesmæssigt spørgsmål. Altså, der foreligger masser af undersøgelser, der viser, at hvis du tager til områder i Afrika, hvor de har en relativt lav landbrugsproduktion, og du introducerer landmændene til basale økologiske dyrkningsmetoder, så vil de øge deres udbytte i hvert fald fem gange, ene og alene på den konto, og uden noget som helst teknologi - andet end en tavle og et stykke kridt og en mand, der ved, hvad han taler om. Fint, så lad os da bruge nogle hundrede milliarder på det, i stedet for at prøve på at udvikle en eller anden GMO.

**Kasper Lippert-Rasmussen:** Hvis det er sådan, at nogle af de her genmodificerede planter bliver udviklet til at tage højde for klimaproblemer, som i høj grad - altså indtil nu i hvert fald - er et resultat af CO<sub>2</sub>-udledningen eller andre former for klimapåvirkninger, som vi har skabt for ulandene - så fore-

kommer det at være sådan lidt en absurd situation, hvis vi på en eller anden måde forsøger at forhindre dem i at benytte afgrøder, som skal afhjælpe problemerne. Selvfølgelig, hvis vi afhjælp de her problemer på anden måde, så var det en anden sag, men faktum er jo nok, at det ikke sker.

**Mickey Gjerris:** Det er lige præcis den diskussion, vi skal have, om ikke det var vigtigere, at vi så afhjælp problemet på en anden måde. For mig at se er det en ringe hjælp at opfordre dem til at fortsætte ned ad det spor, som har kørt vores egen kultur på vildspor. I stedet for at udvikle mere teknologi til dem skulle vi prøve at se på, hvad deres problemer er – om der er andre måder, vi kan løse dem på, som i højere grad kan bekræfte den relation, vi står i til naturen.





## 5. Findes der naturlige fødevarer?

I mange sammenhænge hører man det argument i diskussioner, at noget er forkert, fordi det er 'unaturligt'. Historisk er argumentet brugt imod alt fra homoseksuelle forhold til brug af diverse sygdomsbehandlinger som fx kunstig befrugtning. På fødevareområdet lægges der stor vægt på, om fødevarer er naturlige. I de fleste situationer er det imidlertid ret uklart, hvordan man skal forstå 'det naturlige' og hvad der gør noget 'unaturligt'. Det er desuden uklart, hvorfor noget er forkert, fordi det kan ses som unaturligt.

På fødevareområdet bliver 'naturlighed' anset som en væsentlig værdi, og alle producenter prøver at fremstille deres produkter som 'naturlige', fordi forbrugerne udtrykker en stærk præference for naturlig mad, og tager afstand fra fødevarer, som opfattes som unaturlige. Når forbrugerne afviser genmodificerede fødevarer, angiver de oftest 'unaturlighed' som begrundelsen, og 70 % af europæerne anså i en meningsmåling GMO for at være unaturlige.

Nogle undersøgelser udført af psykologer viser, at forbrugernes præference for naturen og det, at noget er naturligt, til dels begrundes i hensyn som, at naturlige fødevarer opfattes som sundere, renere og at de smager bedre. Men derudover angiver mange også, at de ville foretrække en minimalt bearbejdet og dermed mere naturlig vare, selvom den var kemisk identisk med en anden vare, som mennesker havde spillet en større rolle i at fremstille. Det fortolkes sådan, at det, at noget er naturligt, i sig selv opfattes som en værdi af forbrugerne.

Meget tyder imidlertid på, at der bag denne tilsyneladende tilslutning til et ideal om naturlighed gemmer sig et væld af forståelser af, hvad 'natur' betyder, og hvornår noget er 'naturligt'. Det kan være en fordel at gøre sig disse underliggende uenigheder klart, så de forskellige debattører ikke taler forbi hinanden. For før vi kan diskutere, om det naturlige er værdifuldt etisk set, er det nødvendigt at vide, hvad vi taler om, når vi taler om det naturlige.

Selvom begrebet bruges meget ofte, findes der ikke nogen almindelig anerkendt definition af, hvad naturen eller 'det naturlige' er. I stedet defineres det oftest ved det, det ikke er. Den skotske filosof, David Hume (1711-1776) konstaterede, at naturen oftest ses som modsætningen til:

1. Det mirakuløse eller overnaturlige
2. Det civiliserede/menneskeskabte
3. Det kunstige

Hvis naturen skal forstås som det modsatte af det overnaturligt, og man afviser, at det overnaturlige findes, så er alting i verden naturligt. Så det er nok ikke det, de fleste mener, når de taler om det naturlige.

Hvis det naturlige derimod skal forstås som det modsatte af det, mennesker har skabt (civilisationen), så er det naturlige det, der ikke er påvirket af mennesker. Men det gælder i dag kun nogle få urskove og fjerne naturområder, og intet i Danmark vil være omfattet af den definition.

Andre har forsøgt en yderligere indkredsning af, hvor megen menneskelig involvering, der kan accepteres, før noget ikke længere opfattes som naturligt. Det naturlige kan forstås som:

- **DET VILDE** forstået som det uopdyrkede land, de utæmmede husdyr, de ikke-forædlede planter

- **DET LANDLIGE** forstået som modsætningen til det urbane, altså også landbrugsarealer og kulturlandskaber
- **DET GRØNNE** forstået som det levende, lavteknologiske og organiske, det som fandtes før den industrielle revolution. Det findes også i byer i form af fx parker, husdyr og pottedplanter. Kategorien omfatter også høvlet træ, læder og bomuld, men ikke mere syntetiske produkter som spånplader, nappa og akryl
- **DET FYSISKE** forstået som det, naturvidenskaben kan beskrive, modsat det subjektive, sociale og kulturelle. Den menneskelige krop hører her med til naturen, mens den menneskelige tænkning og videnskaben står udenfor

Som disse kategorier viser, ligger folks accept af, hvor megen menneskelig indgriben, der kan accepteres, før noget bliver unaturligt, på et spektrum fra ingen indgriben overhovedet til de typer af indgreb, man så indtil bestemte historiske perioder, fx indtil den industrielle revolution. Men med alle disse bud, hvordan så finde frem til en fælles forståelse af 'det naturlige', som de fleste kan tilslutte sig?

Hume foreslår at se det naturlige som modsætningen til det kunstige, hvor det kunstige forstås som det, der er skabt af mennesker med et bestemt mål for øje. Et forslag til en definition med dette udgangspunkt er:

Noget er kunstigt hvis det i det mindste delvist er resultatet af menneskers formålsbestemte handlinger.

Det naturlige er så alt det, der ikke er resultatet af sådanne handlinger. Men er mennesker så ikke naturlige, de er jo ofte resultatet af, at andre mennesker – deres forældre – bevidst har handlet med det formål at få børn? Og er klimaforandringerne så naturlige i og med, at de ikke er resultatet af noget, mennesker gør bevidst, men er uønskede konsekvenser af andre ting, mennesker gør?

Det er altså i realiteten meget vanskeligt at finde en betydning af naturligt, der indfanger de mange måder, begrebet bruges på. På fødevarerområdet er det endnu mere vanskeligt, for stort set alle fødevarer er jo fremavlet og bearbejdet af mennesker, så med

flere af de nævnte definitioner er ingen fødevarer naturlige.

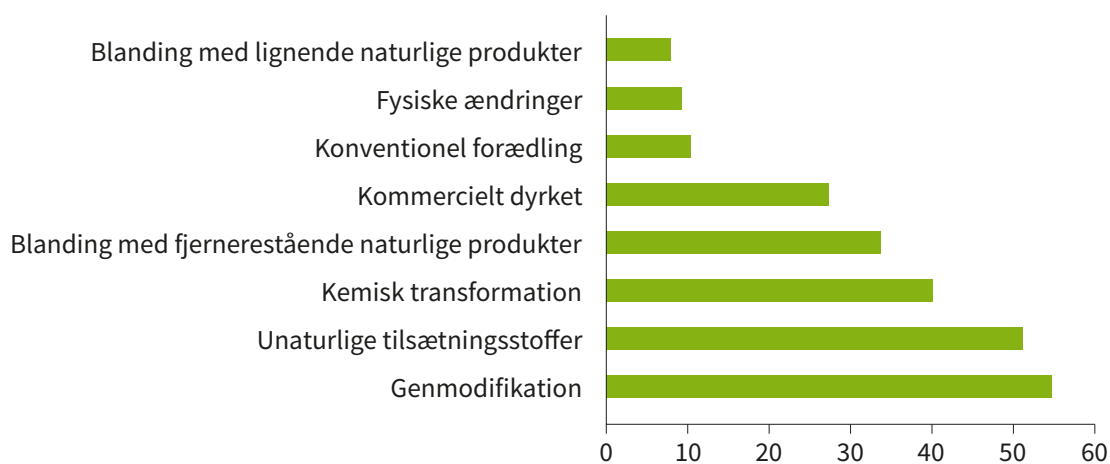
### Hvornår er mad naturlig?

Forskellige undersøgelser har prøvet at indkredse, hvad forbrugerne så mener, når de taler om naturlig mad. Her ser man igen en tendens til at definere det naturlige ud fra hvad det ikke er. En stor undersøgelse dækkende fem europæiske lande og USA viser, at på tværs af landene associerer et stort flertal af forbrugerne naturlig mad som det, der ikke er tilsat forskellige stoffer (især kemiske) og som ikke er forarbejdet.

Når noget tilsættes en fødevarer, opfattede flertallet af deltagerne i undersøgelsen den som 'forurennet', og dens naturlighed som reduceret. Men det er ikke lige meget, hvad der tilsættes. Kemiske ændringer (fx konservering), eller fjernelser af naturlige komponenter (fx fedt) eller tilsætninger af naturlige eller unaturlige stoffer i beskedent omfang (fx farvestoffer) samt helt markant genmanipulation, fører til, at fødevarer opfattes som markant mindre naturlig end før. Derimod har fysiske ændringer (fx frysning eller blendning) for de fleste kun mindre effekt på opfattelsen af naturlighed.

Som det ses af diagrammet (modsatte side), opfattes konventionelt avlsarbejde ikke som unaturligt i nævneværdig grad, på trods af, at der her, som forskerne anfører, "er tale om massiv menneskelig intervention over hundredevis af generationer, som har ført til omfattende ændringer af vilde dyrs genotyper og fænotyper. Genetiske ændringer med indsættelse af et enkelt gen fører derimod til minimale ændringer i genotype og fænotype." Alligevel reducerer genmanipulation opfattelsen af naturlighed med 54,1 %, mens konventionel avl kun reducerer den med 9,8 %.

Den britiske filosof, Anne Chapman, har foreslået at se naturlighed som noget, der kommer i grader, sådan at jo mere mennesker søger at kontrollere naturen og fjerne sig fra de processer, som foregår i den, jo mere unaturlig er praksisen. Bomuld er ud fra denne definition mere naturligt end polyester, fordi polyester er helt igennem menneskeskabt og ikke ville eksistere uden menneskelig indgriben, mens bomuld er en plante, som vokser i naturen. På samme måde finder hun genmodificerede planter mere unaturlige end konventionelt dyrkede. Hun angiver



**Figur 1: Procentuel reduktion i naturlighed** (Kilde: Rozin, Paul 2005)

dog ikke, præcis hvor grænsen går mellem det naturlige og det unaturlige, og hvorfor den går lige her.

### Er det forkert, fordi det er unaturligt?

Alt dette gør os ikke klogere, end at vi må konstatere, at der ikke er nogen entydig definition af, hvornår en fødevarer er naturlig, og hvad der skal til, før den bliver unaturlig. Der er derfor heller ikke nogen måde at måle, hvor naturlig en given fødevarer er.

I første omgang virker det altså vanskeligt at afgøre, hvad det vil sige, at fødevarer er naturlige. Men selv hvis der kunne opnås enighed om det, er det næste spørgsmål, om noget er godt eller etisk set værdifuldt, fordi det er naturligt? Og er noget omvendt forkert, fordi det er unaturligt?

Der synes ikke at være en sådan simpel sammenhæng i og med, at mange naturfænomener, såsom vulkanudbrud og kræftsvulster, ikke opfattes som gode, mens unaturlige ting som blindtarmsoperationer og tandbørstning af de fleste opfattes som gode. Det, at noget er naturligt, ser ikke ud til at kunne bruges som målestok for, om det er godt i sig selv.

Etisk skelner man mellem, om noget er godt eller forkert i sig selv, eller om det er det i kraft af de konsekvenser, det fører med sig i bestemte situationer. Når noget er forkert i sig selv, er det en egenskab ved tingen eller handlingen, at den forkert; den er forkert i alle situationer. Fx vil de fleste nok mene, det er forkert i sig selv at begå mord.

Andre ting er ikke forkerte i sig selv; der er fx ikke noget forkert i at købe en kniv, den kan være nyttig at

have i et køkken. Men hvis man køber en kniv for at slå et andet menneske ihjel, så er det naturligvis forkert. Det er dog ikke købet af kniven, som er forkert, det er de konsekvenser, købet får i denne situation.

Med de briller på kan man måske se naturlig mad som noget, der ikke som sådan er værdifuldt i sig selv, det er snarere et redskab til at opnå noget andet værdifuldt, såsom sundhed eller bæredygtighed i naturen. Mange undersøgelser peger på, at der er et stort sammenfald mellem, hvad forbrugerne opfatter som naturligt, og hvad de opfatter som sundt. Først og fremmest sundt for deres eget helbred, men nogle lægger også vægt på, at de opfatter det som "sundt" for miljøet.

Tilsvarende ser mange måske ikke genetisk modificerede fødevarer som forkerte i sig selv, men snarere som forkerte i det omfang, de anvendes til at fremme en landbrugsproduktion, som baserer sig på monokultur og sprøjtemidler og som langt hen ad vejen ikke er bæredygtigt. Hvis det er denne anvendelse af GMO, man er skeptisk overfor, og ikke GMO i sig selv, er der principielt ikke noget til hinder for, at man kan acceptere anvendelser af GMO, som ikke har uønskede konsekvenser som fx at være ubæredygtige eller risikable. Det kunne fx være brug af genmodifikation til at fremstille GMO'er, som kunne bidrage til forebyggelse af, eller tilpasning til, klimaforandringerne.

■

Senest revideret 29.04.2019

## **GMO, KLIMA OG ETIK**

Undervisningshæfte til brug i gymnasiet

Hæftet kan hentes på [www.etiskraad.dk/gmo](http://www.etiskraad.dk/gmo)

Udgivet af Det Ethiske Råd, 2019

ISBN: 978-87-92915-12-2

Tekst: Anne Lykkeskov og Morten Andreasen

Foto: Jesper Møller-Fink, Ida Wang, Colourbox, Adobe Stock, Shutterstock.com

Grafikker og forsideillustration: Peter Waldorph

Grafisk tilrettelæggelse: Jesper Møller-Fink

Tak til:

Karina Lærkedal Sørensen

Ida Thingstrup

Grith Bacher Dieckmann

Erik Zinglersen

– alle Roskilde Gymnasium

## **DET ETISKE RÅD**

[www.etiskraad.dk](http://www.etiskraad.dk)

[kontakt@etiskraad.dk](mailto:kontakt@etiskraad.dk)

[@etiskraad](https://www.instagram.com/etiskraad)



**DET  
ETISKE  
RÅD**