

Ggo's anno 2018  
Tijd voor een grondige herziening



KVAB Press

Uitgaven  
van  
de Koninklijke  
Vlaamse Academie  
van België  
voor  
Wetenschappen  
en Kunsten

Standpunten nr. 54

---



Hertogsstraat 1  
1000 Brussel  
Tel. 02 550 23 23  
[www.kvab.be](http://www.kvab.be)  
[info@kvab.be](mailto:info@kvab.be)



Ggo's anno 2018  
Tijd voor een grondige herziening

Godelieve Gheysen  
René Custers  
Dominique Van Der Straeten  
Dirk Inzé

Gedeeltelijke reproductie is toegelaten mits uitdrukkelijke bronvermelding.  
Partial reproduction is permitted provided the source is mentioned.

Aanbevolen citeerwijze: Godelieve Gheysen, René Custers, Dominique Van Der Straeten, Dirk Inzé, *Ggo's anno 2018. Tijd voor een grondige herziening*, KVAB Standpunt 54, 2017.

© Copyright 2017 KVAB  
D/2017/0455/10  
ISBN 978 90656 917 74

Foto en ontwerp cover: Anne-Mie Van Kerckhoven

# GGO'S ANNO 2018

## TIJD VOOR EEN GRONDIGE HERZIENING

### INHOUD

Samenvatting . . . . .	2
Executive Summary . . . . .	4
Voorwoord. . . . .	6
1. Situering . . . . .	8
2. Definities en technieken: een overzicht . . . . .	10
3. Veiligheid van de technologie . . . . .	15
4. Regelgeving . . . . .	18
5. Burgers en hun opinie . . . . .	23
6. Communicatie. . . . .	24
7. Aanbevelingen . . . . .	24
Kaderstuk: Plantenveredeling en duurzaamheid. . . . .	26
Kaderstuk: Plantenveredeling en intellectuele eigendomsrechten. . . . .	27
Bijlage: Voorbeelden van ggo-toepassingen . . . . .	28
Bijlage: Populaire ggo-mythes . . . . .	39
Bijlage: Verklarende woordenlijst. . . . .	41
Referenties . . . . .	44
Dankwoord . . . . .	49

## Samenvatting

Een van de grootste uitdagingen voor de mensheid in de 21ste eeuw is het op een meer duurzame wijze voeden van de nog steeds groeiende wereldbevolking. Ggo-technologie – waarbij ‘ggo’ staat voor ‘genetisch gemodificeerd organisme’ – wordt in deze context vaak genoemd, vreemd genoeg enerzijds als deel van de oplossing maar anderzijds ook als een obstakel dat een oplossing in de weg staat. De reden voor deze contradictie is dat de discussie over ggo’s meestal gaat over andere elementen dan de ggo’s zelf: over multinationals, monoculturen en herbicidegebruik, of over de negatieve gevolgen van de ggo-regelgeving in Europa. Daarnaast wordt ggo-technologie ook vaak vereenzelvigd met specifieke ggo-producten en de manier waarop die in de praktijk worden toegepast. De EU-regelgeving rond ggo’s is opgezet eind jaren 1980 en werd rond de eeuwwisseling herzien. Planten die onder de ggo-definitie vallen, worden beschouwd als een aparte categorie en worden veel strikter gecontroleerd dan andere. Dertig jaar geleden was dat wellicht verantwoord door het gebrek aan kennis en ervaring. Tegenwoordig leidt het echter tot een tweesporenbeleid zonder wetenschappelijke basis.

De voorbije decennia is duidelijk geworden dat de ggo-technologie op het vlak van milieu en gezondheid geen unieke risico’s met zich meebrengt in vergelijking met de gangbare voedselproductie. In alle levende organismen gebeurt het dat DNA breekt en opnieuw ‘geplakt’ wordt, analoog aan het knippen en plakken in de recombinant-DNA-technologie die ggo’s produceert. Recombinaties en herschikkingen vinden spontaan plaats in het DNA van levende wezens. En zowel in wilde planten als in gewassen zijn er voorbeelden gevonden van de opname van DNA vanuit *Agrobacterium*, dezelfde bacterie die veelvuldig gebruikt wordt om genetisch gemodificeerde planten te verkrijgen. Het contrast tussen de ggo-regelgeving en de regelgeving die van toepassing is op andere organismen is daardoor te groot geworden. Bovendien is een aantal aan ggo’s toegeschreven nadelen het gevolg van de strenge regelgeving, en dus niet te wijten aan de technologie. De regelgeving duwt de technologie immers in handen van kapitaalcrachtige multinationale bedrijven en beperkt in bepaalde gevallen het aantal rassen dat op de markt kan worden gebracht.

De wetenschap stond sinds het ontstaan van de ggo-regelgeving ook niet stil. Nieuwe technieken, zoals genome editing of beter precisieveredeling, zijn aan de portfolio van de plantenveredelaar toegevoegd en zetten op hun beurt onze regelgeving onder druk. Vallen de gewassen die met deze nieuwere technieken tot stand zijn gekomen ook onder de strenge regels? En is er reden om ze streng te beregelen? In veel gevallen leidt het gebruik van de nieuwe technieken tot planten die ook als gevolg van voortplanting of natuurlijke recombinatie kunnen ontstaan. Het is voor die gewassen dan ook moeilijk te beargumenteren dat ze onder zeer strenge regels zouden moeten vallen.

Uiteindelijk gaat het vooral om duurzaamheid en hoe we die het best kunnen dienen. Indien we een grotere diversiteit aan zaadbedrijven en aan robuuste rassen willen om de landbouw duurzamer te maken, dan is het hoog tijd om wat we in de afgelopen decennia over ggo-technologie hebben geleerd in de Europese ggo-regelgeving te verwerken. Die regelgeving moet daarnaast ook voor kleinere veredelingsbedrijven de toegang tot de nieuwere veredelingstechnieken waarborgen. Beleidsmakers kunnen zich daarbij gesteund voelen door wetenschappelijk onderzoek dat aantoont dat de Europese burger niet de technologie maar enkel bepaalde toepassingen ter discussie stelt.

## Executive Summary

### **GMOs in 2018. Time for a thorough revision.**

Finding a sustainable way of feeding the ever-growing global population is one of humanity's greatest challenges in the 21st century. GMO technology – GMO meaning 'genetically modified organism' – is often named in relation to this, as part of the solution but as an obstacle to the solution as well. The cause of this contradiction is because the debate on GMOs often focuses on aspects not related to GMOs themselves: the debate is about multinationals, monoculture, the use of pesticides or the negative consequences of GMO legislation in Europe. The GMO technology is often reduced to specific examples and the current GMO practices. The European GMO legislation was created late '80s and was revised at the turn of the century. Plants that are identified as GMOs are considered a distinct category. They are subjected to a more thorough monitoring than other plants. This was warranted thirty years ago, due to lack of knowledge and experience but today it leads to a two-track policy without scientific backing.

The past decennia it has become clear that GMO technology does not create specific risks for health or environment in comparison to common food production. For all living organisms it is possible for the DNA to break and recombine, similar to the recombination technique in GMOs. Recombinations and rearrangements can occur spontaneously in the DNA of living organisms. Both in wild plants as well as in crops, examples have been discovered of the incorporation of DNA from *Agrobacterium*, the bacterium that is frequently used to create genetically modified plants. This emphasizes the occurrence of natural genetic engineering, and hence indicates that there is too much contrast between the GMO legislation and the legislation applicable to other plants. Furthermore, several disadvantages attributed to GMOs are a consequence of the stricter regulation and are not due to the GMO technology itself. As a consequence of the current legislation, GMOs also remain in the hands of multinational companies and the genetic varieties on the agricultural market are often limited.

A lot of scientific progress has been made since the introduction of GMO legislation: new techniques such as genome editing or precision breeding have been added to the portfolio of plant breeders. These techniques put a strain on current legislation. Should crops resulting from these new techniques be subjected to the stricter legislation? Are there any reasons to strongly regulate the products of these techniques? In many cases the use of these modern techniques results in plants that could also have originated from classical breeding. Since plants obtained by either classical breeding or precision breeding are indistinguishable, it is difficult to find scientific arguments for applying strict regulation to crops obtained by precision breeding.



The focal point is sustainability and how we best serve this purpose. If we want a greater diversity in seed companies and robust varieties to make agriculture more sustainable, we urgently need to incorporate the acquired scientific knowledge on GMO technology into European legislation. This legislation needs to secure access to new breeding techniques for smaller companies. Policymakers should feel backed by scientific research proving that European citizens are not questioning the technology but rather specific implementations of this technology.

## Voorwoord

### Reeks Standpunten

De reeks Standpunten van de Academie is een bijdrage tot een wetenschappelijk onderbouwd debat over actuele maatschappelijke en artistieke thema's. De auteurs, leden en werkgroepen van de Academie schrijven in eigen naam, onafhankelijk en met volledige intellectuele vrijheid. De goedkeuring voor publicatie door een of meerdere Klassen van de Academie waarborgt de kwaliteit van de publicatie. Dit Standpunt werd goedgekeurd voor publicatie door de klassenvergadering van de Klasse van de Natuurwetenschappen op 1 december 2017.

### Verantwoording

De landbouw is een belangrijke leverancier van voedsel, energie en grondstoffen voor de wereldbevolking, die aangroeit en een stijgende levensstandaard heeft. Een van de grote uitdagingen voor de komende decennia bestaat er dan ook in om de landbouwproductie tegelijk efficiënter en duurzamer te maken. Veel van de zeventien *Sustainable Development Goals* (SDG's) [1] die de Verenigde Naties in 2015 opstelden, hebben direct of indirect met landbouw en voeding te maken. Een betere landbouw is nodig om armoede en honger terug te dringen, vereist een verantwoorde productie en consumptie, kan helpen voor de energievoorziening en de economische groei, en leidt tot een betere waterkwaliteit en gezondheid. Voor veel van die facetten schieten de huidige landbouwpraktijken echter tekort. Kleinschalige, lokale en ecologisch verantwoorde landbouw verliest de competitie in een geglobaliseerde markt en de diversiteit van gebruikte landbouwgewassen gaat er gestaag op achteruit. Multinationale bedrijven krijgen steeds meer grip op de zaad- en voedselproductie en de lage kostprijs van voedingsmiddelen in de geïndustrialiseerde landen werkt voedselverspilling in de hand. De intensieve landbouw mag dan efficiënt zijn wat de hoge productie betreft, maar heeft vaak vooral oog voor de economische kant van de zaak en te weinig voor ecologische en sociale aspecten van voedselproductie. Kan technologie een handje toesteken of zet ze integendeel een rem op duurzame landbouw?

De voorbije eeuw heeft technologie bijgedragen tot een steeds efficiëntere landbouw, helaas vaak met milieuproblemen of uitputting van de bodem als gevolg. In de 21ste eeuw moeten we beter kunnen: er is voldoende wetenschappelijke en technische kennis om gewassen te telen met minder impact op de omgeving. Het lijkt logisch om alle kennis en technologie die kan bijdragen tot duurzame oplossingen ook te overwegen en niet van bij de start bepaalde technologieën te blokkeren. Ook toepassingen die gebruik maken van genetisch gemodificeerde organismen (ggo's) kunnen bijdragen aan een duurzame landbouw.

Al decennia wordt beloofd dat ggo's kunnen helpen om het voedselprobleem op te lossen, maar in de praktijk blijven tot op vandaag de belangrijkste toepassingen beperkt tot een handvol commercieel interessante gewassen en gaat het vooral om herbicidetolerantie, al dan niet in combinatie met insectresistentie. Veel beloftevolle toepassingen, zoals virusresistente pruimenbomen of wijnstokken, raken niet verder dan het stadium van de veldproeven. Zeker in Europa heeft dit grotendeels te maken met de ggo-regelgeving en hoe die politiek vertaald wordt. Kleine en middelgrote bedrijven hebben niet de capaciteit om te investeren in de langdurige en dure tests die vereist zijn voor een ggo gecommmercialiseerd kan worden. Grote bedrijven investeren enkel in gewassen en eigenschappen die hen met zekerheid voldoende rendement opleveren, zoals soja en herbicidetolerantie.

In 1990 werd de Europese richtlijn inzake de doelbewuste introductie van genetisch gemodificeerde organismen in het milieu gepubliceerd. Dit EU-document [2] legde de regels vast voor een verantwoord gebruik van ggo's in teelt en voeding. Meer dan 25 jaar later is de moleculair-biologische kennis van planten op indrukwekkende wijze toegenomen, is de technologische vooruitgang significant en is er ook heel veel nuttige ervaring opgebouwd inzake het gebruik van ggo's. De regelgeving is wel meermaals aangepast (o.a. in 2001 [3]), maar ze lijkt vooral in de richting te gaan van een steeds strenger kader, zonder rekening te houden met de wetenschappelijke kennis en de technologische vooruitgang. Dit Standpunt wil een stand van zaken opmaken, op een manier die klaarheid schept in deze complexe en vaak controversiële materie. De focus ligt op de technologie, de veiligheid en de regelgeving.

Natuurlijk kan een technologie niet los gezien worden van haar toepassingen en van de maatschappij waarin ze aangewend wordt. Een technologie kan die maatschappij beïnvloeden. Zo heeft de discussie over ggo's mee vorm gegeven aan het debat over duurzame en ethisch verantwoorde landbouw [4]. Anderzijds gaat het debat over ggo's al te vaak *niet* over ggo's maar over andere thema's, zoals herbicidegebruik in de landbouw [5]. In dit standpunt focussen we op de ggo-technologie zelf en de regelgeving erover. Het gebruik van een technologie in een maatschappij moet ook getoetst worden aan ethische waarden. Lezers die zich verder willen verdiepen in een analyse van de maatschappelijke context van huidige en toekomstige ggo-toepassingen verwijzen we naar het uitgebreidere Metaforum-rapport over ggo's [6].

# 1. Situering

## **Veredeling en veiligheid**

Sinds het ontstaan van de landbouw ongeveer 10.000 jaar geleden is de mens planten gaan selecteren die beter aan zijn behoefte zijn aangepast. Dit proces van artificiële selectie verschilt van de natuurlijke selectie. Een mooi voorbeeld is dat door de mens geselecteerde graangewassen, zoals tarwe en maïs, hun zaden vasthouden zodat er bij de oogst niets verloren gaat. Deze eigenschap is een nadeel voor wilde planten, die hun zaden juist zo veel mogelijk willen verspreiden. Het doel van de aanpassing van planten door veredeling is dat we betere planten genereren: met evenveel of meer opbrengst en minder input (gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen, water...) en/of met een betere kwaliteit. De technieken voor veredeling en selectie zijn in de loop van de voorbije honderd jaar enorm uitgebreid en de laatste decennia steeds efficiënter geworden (zie onder 2).

Omdat we behalve voldoende voedzaam en lekker voedsel ook veilig voedsel willen, is er regelgeving die daarover waakt. Het doel daarvan is de bescherming van mens en natuur tegen mogelijke schade. Na enkele problemen inzake voedselveiligheid in de jaren 1990 (dollekoeienziekte, dioxinecrisis...) en ook om sneller te kunnen reageren op microbiële en chemische contaminaties in de voeding, werd in 2000 in België het Federale Agentschap voor de Veiligheid van de Voedselketen (FAVV) opgericht. Op Europees niveau was er in 2002 de oprichting van de European Food Safety Authority (EFSA). De overheden brengen op basis van wetenschappelijke gegevens mogelijke risico's in kaart en treffen passende maatregelen waar nodig. Hierbij moet vanzelfsprekend de voorrang gaan naar de belangrijkste risico's met de meest ernstige gevolgen. In 2011 zijn bijvoorbeeld meer dan vijftig mensen gestorven en zijn er 4000 ziek geworden na het eten van planten die door het gebruik van vloeibare mest besmet waren met de toxische bacteriestam *Escherichia coli* O104:H4 [7]. Het snel opsporen en van de markt halen van de bron van een besmetting is essentieel om het aantal slachtoffers te beperken.

## **Rem op een revolutie**

Vlaanderen is een pionier in het onderzoek en de ontwikkeling van planten-biotechnologie. Sinds de jaren 1980 zijn de technieken voor het verbeteren van planten steeds meer gesofistikeerd en zijn de resultaten vaak niet meer te onderscheiden van planten die zijn verkregen door veredeling. Om de meest recente innovaties te onderscheiden van intussen ingeburgerde methoden spreekt men van 'nieuwe veredelingstechnieken'.

Het snel en gericht ingrijpen in het erfelijk materiaal van planten heeft een revolutie veroorzaakt in de gewasverbetering, waardoor men met minder bescher-

mingsmiddelen toch een goede opbrengst kan verkrijgen. De strenge regelgeving voor ggo's blokkeert echter toepassingen bij gewassen die financieel minder interessant zijn voor grote bedrijven, zoals veel groenten- en fruitsoorten en lokale gewassen in ontwikkelingslanden. In Europa is men voluit op de rem gaan staan inzake de teelt van ggo's. Mist Europa de kans om deze technologie toe te passen met het oog op een meer duurzame landbouw met kwaliteitsvolle voedingsproducten? Na twintig jaar (van een bijna) volledige blokkering van innovatieve toepassingen van plantenbiotechnologie en irrationele reacties op de nieuwe veredelings technieken is het tijd om terug te keren naar de basis: we willen met z'n allen duurzaam geproduceerde voeding die veilig is voor mens en milieu.

Sinds de eerste genetisch gewijzigde planten werden ontwikkeld is in Europa op grond van het voorzorgsprincipe een ggo-regelgeving opgezet die ertoe moest leiden dat de nieuwe planten veilig waren voor mens en milieu. In tegenstelling tot nieuwe planten die zijn verkregen door conventionele of mutatieveredeling (zie onder 2), worden ggo's pas tot de markt toegelaten na een veiligheidsanalyse door EFSA en na een stemming in een comité met vertegenwoordigers van de Europese lidstaten. Het is dus vooral de gebruikte techniek die bepaalt of een gewas al dan niet aan een strenge regelgeving onderworpen is, niet zozeer de eigenschap die met behulp van die techniek in het gewas werd geïntroduceerd. Zeer gelijkaardige planten – bijvoorbeeld planten met eenzelfde herbicidetolerantie die ze door een andere methode verkregen hebben (zie bijlage) – kunnen dan ofwel onmiddellijk op de markt gebracht worden, ofwel worden ze met een zeer strenge procedure gecontroleerd en meestal ook geblokkeerd. Dit is een uiterst onlogische situatie: beide planten zijn even veilig, maar de ene wordt op de markt gebracht en de andere van de markt geweerd. Het is logischer de risicoanalyse vooral te doen focussen op de plant en zijn eigenschappen.

Nemen we het voorbeeld van een aardappel met een aangepaste zetmeel-samenstelling die gebruikt wordt voor industriële toepassingen, zoals de papier- en lijmpductie. BASF had een dergelijke aardappel, Amflora [8], ontwikkeld door genetische modificatie (RNAi, zie onder 2). Als ggo onderging de aardappel een heel grondige analyse op zijn veiligheid voor mens en milieu. Het dossier werd in 2003 bij EFSA ingediend en uiteindelijk werd de teelt van Amflora in 2010 toegelaten. De discussie bleef echter duren, zodat BASF in 2012 besliste de teelt in Europa stop te zetten. Intussen is ter vervanging een mutante aardappel met dezelfde eigenschappen op de markt gebracht, zonder discussie. De mutant werd verkregen door bestraling [9] en valt niet onder de ggo-regelgeving.

## 2. Definities en technieken: een overzicht

### Plantenveredeling: van de eerste landbouwers tot de genetica-revolutie

Een van de belangrijkste stappen in de geschiedenis van de mens is zonder twijfel de overgang van jager-verzamelaar naar landbouwer: het moment dat mensen doelbewust planten gingen zaaien op een akker. Toen is de domesticatie van planten gestart. Mensen gingen de zaden met gunstige eigenschappen en hoge opbrengsten verzamelen als zaaizaad voor een volgend seizoen. Zo zijn in de loop van een aantal millennia de eigenschappen van onze cultuurgewassen steeds verder verwijderd geraakt van de wilde plant waar ze van afgeleid zijn. Op een gegeven ogenblik zijn mensen planten doelbewust gaan kruisen, in de hoop in de 'nakomelingen' gunstige eigenschappen samen te brengen. De ontdekking van de erfelijkheidswetten door Mendel heeft dit proces versneld. Een aantal nieuwe eigenschappen is heel belangrijk geweest voor de landbouw. Zo legden kortere stengels bij tarwe en rijst de basis van de groene revolutie. [10] Compactere planten waaien minder makkelijk om en steken de opgenomen voedingsstoffen meer in hun zaadproductie dan in hun verticale groei. Veel cultuurgewassen lijken in niets meer op hun wilde ouders. Kijk maar naar de talloze varianten van kool (Figuur 1).

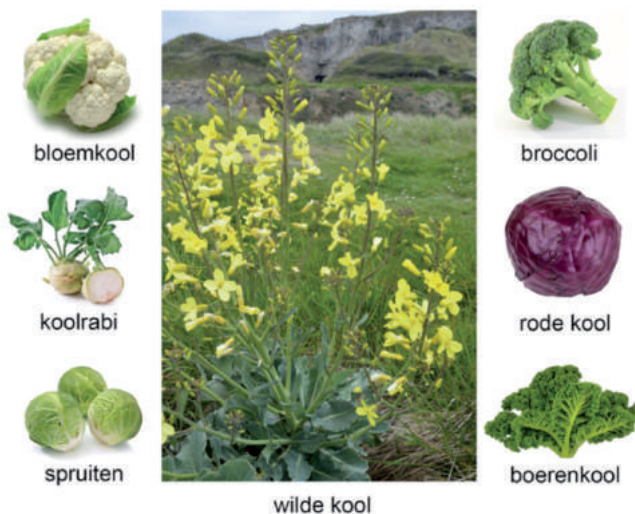


Fig. 1. Uit de wilde kool (centrale foto) zijn door veredeling heel verschillende kolen ontwikkeld. Ze behoren alle tot dezelfde plantensoort *Brassica oleracea*.

Vooral in de 20ste eeuw raakte de plantenveredeling in een stroomversnelling. Een eerste belangrijke innovatie was de ontwikkeling van F1-hybriden, kruisingen tussen twee ingeteelde ouders. Door inteeltlijnen met elkaar te kruisen is de volgende generatie homogeen en zeer vitaal. Andere belangrijke innovaties waren de mutatieveredeling en de *embryo-rescue*.

In de mutatieveredeling worden met behulp van chemische stoffen of ioniserende straling op een willekeurige manier kleine wijzigingen in het DNA geïnduceerd. Sommige daarvan leiden tot gewenste eigenschappen, die vervolgens geselecteerd worden. Het aantal wijzigingen dat op deze blinde manier gegenereerd wordt, varieert van enkele tientallen tot duizenden per behandeling.

*Embryo-rescue* is een techniek waarbij pasgevormde embryo's uit de zaden van de plant verwijderd worden en op een kunstmatige steriele voedingsbodem geplaatst worden met daarin alle benodigde voedingsstoffen. Met deze techniek zijn kruisingen mogelijk tussen soorten (species) die in de natuur nooit spontaan plaats zouden hebben. De huidige tarwerassen voor pasta of brood zijn het resultaat van dergelijke interspecifieke kruisingen waarbij embryo-rescue en bestraling gebruikt werden om vanuit andere granen en wilde grassoorten onder andere ziekteresistentie over te brengen. [11] [12]

Met de ontdekking van de dubbele helixstructuur van DNA in 1953 kwam de genetica-revolutie. Alle levende organismen op aarde hebben DNA als hun erfelijk materiaal en bleken ook dezelfde vertaalsleutel (genetische code) te gebruiken om uit dat DNA eiwitten te produceren (fig. 2). Technologieën om DNA met behulp van enzymen in specifieke stukken te knippen en vervolgens ook weer aan elkaar te plakken zorgden voor een nieuwe dimensie. Dit proces staat bekend als de recombinant-DNA-technologie. Daarmee werden in de jaren 1970 de eerste ggo's gemaakt in micro-organismen, met als belangrijk voorbeeld de productie van menselijke insuline in een bacterie. Vergelijk het met een stukje tekst (een recept voor een eiwit) uit het DNA-boek van de mens dat geïnsererd is in de DNA-tekst van de bacterie, waardoor de bacterie menselijke insuline kan aanmaken.

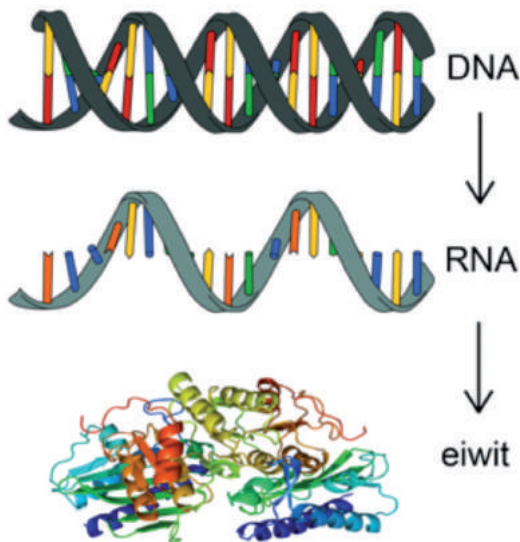


Fig. 2. De informatieoverdracht van DNA, het erfelijk materiaal, via een intermediaire boodschapper (RNA) en uiteindelijk vertaald naar de aminozuren van een eiwit.

DNA en RNA bestaan uit vier letters (stikstofhoudende organische basen) die de codetaal vormen waarop alle leven gebaseerd is. Eiwitten vormen de bouwstenen van de cel, als structureel eiwit zelf of als enzymen die reacties uitvoeren om andere bouwstenen te maken, zoals vetten en suikers.

Bij planten was het wachten tot begin jaren 1980 en de belangrijke ontdekking dat de bacterie *Agrobacterium tumefaciens* bij het infecteren van planten een stuk van het eigen DNA inbouwt in het genoom van de plantgastheer. Die kennis, gecombineerd met recombinant-DNA-technologie, maakte in 1983 de ontwikkeling van de eerste genetisch gewijzigde plant mogelijk. Dat gebeurde in België, in de laboratoria van Jeff Schell en Marc Van Montagu aan de Universiteit Gent. Deze technologie heeft het mogelijk gemaakt om doelgericht bepaalde erfelijke eigenschappen in gewassen te introduceren. In plaats van door kruising alle genen van beide ouders te combineren en vervolgens op zoek te gaan naar de nakomelingen met de gewenste eigenschappen, kan dankzij recombinant-DNA-technologie het gewenste gen van de ene plant naar de andere overgebracht worden. Bovendien laat de technologie toe om genen te nemen uit andere organismen, zonder dat soortgrenzen een barrière vormen. Een van de eerste toepassingen was het gebruik van een bacterieel gen (Bt uit *Bacillus thuringiensis*) dat codeert voor een eiwit dat selectief giftig is voor bepaalde insecten om gewassen insectresistent te maken, zoals katoen en maïs (zie ook in de bijlage over Bt-aubergine).

Er werden ook technieken ontwikkeld om expressie van ongewenste genen in planten uit te schakelen, zoals de RNAi-techniek. [13] De methode is gebaseerd op het natuurlijke afweermechanisme dat planten gebruiken om zich te verdedigen tegen plantenvirussen. Planten herkennen dubbelstrengig RNA (dsRNA) dat afkomstig is van virussen, waarbij zowel het dsRNA als het overeenkomstige mRNA wordt afgebroken. Analoot zal de introductie van een aangepast gen dat dsRNA produceert tegen een allergeen eiwit ervoor zorgen dat dat eiwit niet of nauwelijks aangemaakt wordt (zie hierover in de bijlage de luikjes 'Virusresistente papaja', 'Verbeterde aardappel' en 'Hypoallergene appel').

Parallel aan deze ontwikkelingen werd in de jaren 1970 ook technologie ontwikkeld om DNA-sequenties te bepalen. In combinatie met de recombinant-DNA-technologie om het effect van uitgeschakelde genen te bestuderen stond dit aan de basis van het steeds verder ontrafelen van genen en hele genomen. De veredeling van planten is als gevolg van dit alles steeds meer kennisgedreven en doelgericht geworden. Merker-geassisteerde veredeling gebruikt DNA-analyse om in een veredelingsprogramma snel en efficiënt de beste nakomelingen te kiezen voor verdere selectie.

### **Nieuwe verdelingstechnieken**

In discussies over groene biotechnologie worden klassieke veredeling en ggo's veelal tegenover elkaar gezet. In werkelijkheid is er sprake van een continuüm van innovaties in de veredeling van landbouw- en voedingsgewassen (zie fig. 3). Het begrip 'klassieke veredeling' omvat een verzameling van werkwijzen en technieken die over een periode van vele decennia zijn ontstaan. Ook de term



'genetische modificatie' groepeert technieken waarmee wijzigingen in erfelijk materiaal worden doorgevoerd die in de natuur niet zomaar kunnen voorkomen. De begrippen 'genetische modificatie' en 'ggo's' worden vooral in een wettelijke context gebruikt om te bepalen welke typen van organismen onder een speciale wetgeving vallen.

Let wel: niet elke doelbewuste wijziging van het erfelijk materiaal van een organisme valt onder de wettelijke term 'genetische modificatie'. Verderop in dit document (zie onder 5) hebben we het daar nog over.

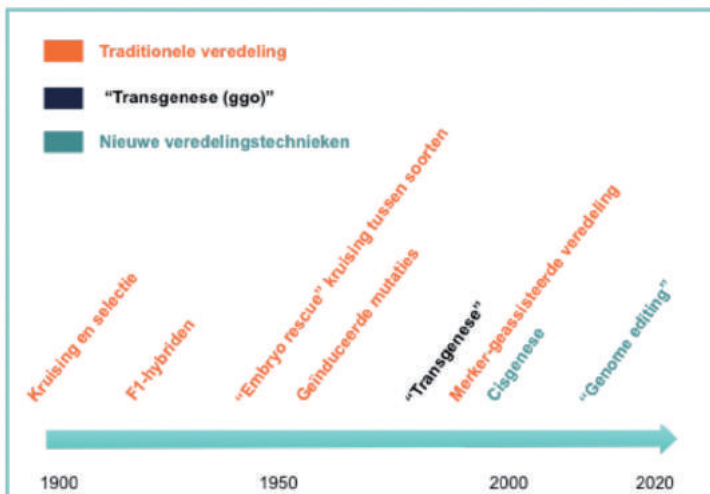


Fig. 3. Innovaties in de plantenveredeling door de jaren heen.

Sinds een tiental jaar wordt er ook gesproken over een derde categorie van veredeling: de 'nieuwe veredelingstechnieken', ook al zijn die technieken niet allemaal even nieuw. Wel zijn ze allemaal ontstaan na het ontwikkelen van de recombinant-DNA-technologie en het invoeren van de ggo-wetgeving. Een duidelijk en volledig overzicht van de nieuwe veredelingstechnieken is te vinden in de brochure *Opportunities of New Plant Breeding Techniques* van de Universiteit Wageningen. [14] We beperken ons hier tot de twee meest relevante voorbeelden.

1. Bij **cisgenese en intragenese** wordt gebruik gemaakt van dezelfde recombinant-DNA-technieken die ook bij genetische modificatie worden toegepast. Cisgenese betekent de introductie van soorteigen genen (een of meer cisgenen) met hun natuurlijke regulatiesignalen. Dergelijke genen kunnen ook door kruising in een gewas terechtkomen. Het enige verschil tussen een klassiek veredeld gewas en een cisgeen gewas is de locatie van het gen in het genoom. Een voordeel van cisgenese is het vermijden van ongewenste genen die bij een gewone kruising mee kunnen komen. Bij intragenese zijn alle sequenties die in het gewas worden geïntroduceerd afkomstig uit de natuurlijke genenpool, maar

kunnen nieuwe genen met verschillende componenten gebouwd worden, zodat bijvoorbeeld een gen ook tot expressie komt in fruit. De kans dat een dergelijk intrageen gewas op klassieke wijze kan ontstaan is heel klein. Zowel cisgene als intragene genconstructen kunnen met behulp van *gene editing* op een specifieke plaats in het genoom geïntroduceerd worden.

2. *Gene editing* of *genome editing* of precisieveredeling. **Gene editing** is het doelgericht en op zeer precieze wijze doorvoeren van kleine wijzigingen aan het erfelijk materiaal van een organisme. Er worden voor het verkrijgen van de *edits* verschillende technieken gebruikt, met als bekendste het CRISPR/Cas9-systeem (CRISPR = *clustered regularly interspaced short palindromic repeats*). Tabel 1 biedt een overzicht van een aantal typische wijzigingen die met behulp van dit systeem kunnen worden doorgevoerd. Het gaat in essentie om het knippen op een specifieke plaats in het genoom, waardoor additionele genetische variatie gegenereerd wordt. Dit staat in contrast met wat in het algemeen onder de wettelijke term 'genetische modificatie' wordt verstaan. Daarin gaat het vooral om de introductie van genetisch materiaal over de soortgrenzen heen (transgenese). Omdat door genome editing heel specifieke mutaties of allelen gegenereerd kunnen worden, is de Nederlandse term precisieveredeling heel toepasselijk.

Tabel 1: Voorbeelden van precisieveredeling

Type	Voorbeeld	technologie	mechanisme
Verandering van één base in het DNA	...ATA... → ...ACA...	CRISPR gecombineerd met een stukje DNA dat de gewenste wijziging bevat	Creatie van een dubbelstrengige knip in het DNA gevolgd door herstel op basis van DNA-homologie
Verwijdering van meerdere basen	...AATAGC... → ...AC...	CRISPR	Creatie van een dubbelstrengige knip in het DNA gevolgd door herstel van de breuk
Vervanging van alle	...Allel-1... → ...Allel-2...	CRISPR gecombineerd met een stukje DNA dat ander allel bevat	Creatie van een dubbelstrengige knip in het DNA gevolgd door herstel op basis van DNA-homologie

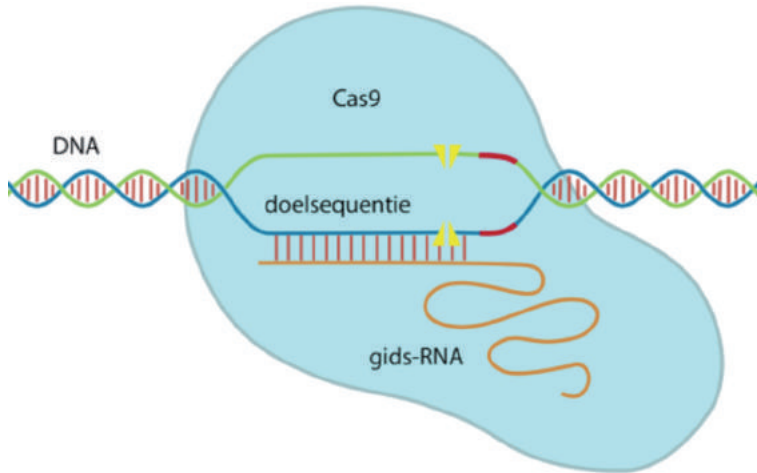


Fig. 4. CRISPR-Cas-systeem

CRISPR-Cas is een bacterieel complex dat bestaat uit het Cas-enzyme en RNA-moleculen. In de natuur kan dat complex virus-DNA herkennen, binden en het op die plaats knippen. Wetenschappers kunnen het RNA aanpassen om een gewenste DNA-doelsequentie in de cel te knippen. Een geknipte DNA-sequentie wordt in de cel hersteld door enzymen die de losse uiteinden weer aan elkaar kleven, maar tijdens dat proces gebeuren op die plaats vaak kleine mutaties.

### 3. Veiligheid van de technologie

Bij de ontwikkeling van de eerste genetisch gemodificeerde planten, intussen meer dan dertig jaar geleden, wist men nog heel weinig over mogelijk onverwachte gevolgen van de techniek op het DNA en de eigenschappen van die planten. Daarom werd een specifieke regelgeving opgezet om dergelijke planten te controleren voor ze op de markt werden toegelaten (zie onder 4). De regelgeving gaat er dus vanuit dat het proces van genetische wijziging specifieke risico's met zich kan meebrengen. Uit onderzoek van de voorbije dertig jaar kunnen we echter besluiten dat er geen enkele wetenschappelijke basis is om dergelijke specifieke risico's te veronderstellen. Zie voor een gedetailleerd overzicht ook [15-16].

Bij elke populatie van levende wezens zijn er individuen die genetisch verschillend zijn. De DNA-verschillen ontstaan spontaan door fouten (mutaties) tijdens het vermeerderen van het DNA, of door externe factoren, zoals zonnestraling. De meeste veranderingen zijn klein (enkele DNA-letters), maar ook grote herschikkingen komen voor (afbreken en verplaatsen van chromosoomstukken). De nieuwe DNA-sequentietechnieken laten nu toe om snel en relatief goedkoop het genoom van veel individuen van een soort te analyseren. Hieruit is gebleken dat

het proces van genetische wijziging minder dergelijke veranderingen veroorzaakt dan wat als natuurlijke variatie aanwezig is of bijkomend veroorzaakt wordt door veredeling. [17-20]

Dankzij genticologie kunnen we DNA uitwisselen tussen niet-verwante species, bijvoorbeeld van een bacterie naar een plant. Dat lijkt onnatuurlijk omdat de soortengrenzen doorbroken worden. Horizontale gentransfer (HGT) wordt het genoemd, omdat het verschilt van de verticale gentransfer van ouders naar nakomelingen. Genoomanalyses hebben de voorbije decennia aangetoond dat horizontale gentransfer ook in de natuur veel voorkomt en belangrijk was voor de evolutie. Terwijl al heel lang geweten was dat bacteriën onderling volop aan HGT doen, blijken nu ook planten en dieren DNA te gebruiken dat ze van bacteriën of schimmels kregen. Bladluizen gebruiken schimmelgenen om een kleurtje te krijgen dat hen beschermt tegen predatoren [21], mijten produceren met bacteriële genen enzymen die toxische plantproducten afbreken [22], en plantenparasitaire wormen hebben een heel arsenaal aan eiwitten om de plant beter te infecteren; nagenoeg allemaal zijn ze geproduceerd met genen die uit bacteriën of schimmels komen. [23] Vissen van niet-verwante soorten wisselen DNA uit, wellicht via het sperma dat in het water gelost wordt om de eitjes te bevruchten [24] en zowel tabak [25] als de zoete aardappel [26] kregen meer dan 10.000 jaar geleden DNA-fragmenten van *Agrobacterium*, de bacterie die in het lab gebruikt wordt om ggo's te maken.

Ook conventionele veredeling kan DNA uitwisselen tussen verschillende soorten, als ze tenminste nog enigszins verwant zijn en er een aantal laboratoriumtechnieken worden toegepast (zie onder 2).

Vrij veel verbeterde plantenrassen zijn er gekomen dankzij mutagenese. Bij mutagenese vergroot men de DNA-varianties die van nature voorkomen, bijvoorbeeld door bestraling. Terwijl de kans op een natuurlijke fout ongeveer één op 100 miljoen DNA-letters is, kan dat bij bestraling oplopen tot één op 1000. Hierdoor stijgt de kans dat tussen die vele duizenden mutaties in het genoom er één is die tot een gewenste eigenschap leidt. Voorbeelden zijn de roze pompelmoes en de durumtarwe waarmee pasta gemaakt wordt. De meeste andere mutaties die tijdens de bestraling ontstaan, veroorzaken geen zichtbaar effect maar zijn wel nog aanwezig in de plant die is verkregen door mutatieveredeling. Je kan het vergelijken met een hagelshot: een paar hagelkorreltjes treffen doel en de rest komt elders terecht. Genticologie heeft recent een methode ontwikkeld waarbij mutagenese gebeurt zoals een scherpschutter schiet. Met CRISPR-cas9 (zie onder 2) veroorzaakt één welgemikt schot een mutatie op de gewenste plaats, waarna de scherpschutter spoorloos kan verdwijnen. De technologie is niet feilloos, maar het is mogelijk de gewenste mutanten te identificeren. Omdat tijdens dit proces genticologie wordt gebruikt, is men in Europa al tien jaar aan het discussiëren of dergelijke mutanten al dan niet onder de strenge ggo-regelgeving vallen. Noch-

tans hoeven mutanten die er zijn gekomen dankzij de 'hagelshot-techniek' geen veiligheidsprocedure te doorlopen en kunnen zij rechtstreeks naar de markt. De discussie of een CRISPR-gegenereerde mutant al dan niet een ggo is, is trouwens volkomen irrelevant voor de vraag of die mutant veilig is of niet.

Er zijn dus op basis van de aangebrachte DNA-wijzigingen geen wetenschappelijke argumenten om de planten die er dankzij gentechnologie zijn gekomen aan een strengere veiligheidscontrole te onderwerpen dan planten die het resultaat zijn van veredeling. Dat wordt nog eens bevestigd door heel grondige analyses van wat er in ggo-planten veranderd is op het niveau van eiwitten of metabolieten. [27-28] Allerhande voederstudies [29-30] met dieren (ratten en muizen, zalmen, geiten, koeien, varkens...) laten geen verschil zien in voederkwaliteit tussen ggo- en niet-ggo-planten. Er zijn geen nadelige effecten van het ggo-voeder op de dieren, ook niet bij langdurige proeven (langer dan twee jaar) en over verschillende generaties (getest bij ratten). Uitgebreide analyses van mogelijke milieu-effecten tonen ook geen verschillen met veredelde planten. [31] Specifieke toepassingen blijken dan weer milieuvordelen met zich mee te brengen, zoals een verminderd insecticidegebruik, met als gevolg meer diversiteit aan nuttige insecten in het veld. [32-33]

De teelt van ggo's is gestart in 1996 en gebeurt sinds jaren wereldwijd op ca. 180 miljoen hectare. In al die jaren is er geen enkele evidentie van schade aan het milieu gerapporteerd. Tussen 2000 en 2011 zijn in de V.S. bijna 100 miljard kippen en meer dan 300 miljoen runderen met ggo's gevoederd. De bijgehouden statistieken sinds 1983 tonen geen enkel negatief effect op de gezondheid van de dieren. [34] De wetenschappelijke consensus is duidelijk: gentechnologie brengt geen nieuwe risico's met zich mee die verschillen van veredeling. En met veredeling hebben we een heel lange ervaring die aantoont dat het proces voldoende veilig is.

Er wordt soms terecht opgemerkt dat niet alle wetenschappers dezelfde mening toegedaan zijn. Dat klopt: er zijn wetenschappers die kritisch staan tegenover het gebruik van de ggo-technologie, net zoals er wetenschappers zijn die ontkennen dat klimaatverandering mede door de mens beïnvloed wordt, of wetenschappers die het nut van vaccins of bestaan van evolutie betwijfelen. Volgens een studie in de V.S. [35] is het verschil in mening tussen wetenschappers en burgers echter het grootst bij ggo's. Het onderzoek wees uit dat 88% van de wetenschappers vond dat ggo-voeding veilig was, tegenover slechts 37% van de burgers. Voor de klimaatdiscussie was dat 87% tegenover 50%, en voor vaccins 86% tegenover 68%.

We kunnen besluiten: er is geen enkele evidentie dat de ggo-technologie op zichzelf specifieke risico's met zich meebrengt in vergelijking met veredeling. Eventuele risico's zijn vooral afhankelijk van de aard van de wijziging die je doorvoert, en

ook de genetische achtergrond van het organisme zelf speelt een rol. Zo kan een aardappel na een klassieke veredeling meer toxische glycoalkaloiden produceren. [36]

## 4. Regelgeving

### **Ggo's: definitie en regelgeving in Europa**

Wereldwijd is er regelgeving rond ggo's. Die heeft als gemeenschappelijke basis dat ggo's eerst een veiligheidsonderzoek moeten ondergaan – zowel naar voedselveiligheid als naar mogelijke milieurisico's – voor ze gebruikt mogen worden. Hoewel al die regelgeving gebaseerd is op globaal overleg dat in 2000 uitmondde in het Cartagena-protocol voor bioveiligheid [37], kan de ggo-definitie en de precieze wetgeving verschillen. Hier focussen we op de Europese definitie en wetgeving, met als start richtlijn 90 / 220 /EEG in 1990. [2-3]

Dit is de definitie van een genetisch gemodificeerd organisme (ggo) volgens 90/220/EEG: een organisme, met uitzondering van menselijke wezens, waarvan het genetische materiaal veranderd is op een wijze welke van nature door voortplanting en/of natuurlijke recombinatie niet mogelijk is.

Deze richtlijn is niet van toepassing op organismen die zijn verkregen door middel van de in bijlage I B vermelde genetische modificatietechnieken, (1) mutagenese (2) celfusie van plantencellen of organismen die genetisch materiaal kunnen uitwisselen via traditionele veredelingstechnieken.

De Europese regelgeving vereist een grondige toxiciteitsanalyse en milieurisico-evaluatie voor een ggo gecommercialiseerd kan worden. Daartoe moet bij EFSA een dossier ingediend worden dat o.a. de volgende gegevens bevat:

- een gedetailleerde moleculaire karakterisering: wat is er aan het DNA veranderd?
- de gedetailleerde chemische samenstelling in vergelijking met een niet-ggo;
- een analyse van de nutritionele waarde;
- een analyse van de toxiciteit en allergenen o.a. via dierenproeven;
- een analyse van mogelijke milieu-effecten.

De gegevens in het dossier moeten verzameld worden aan de hand van meerdere veldproeven die over verschillende jaren lopen.

Als een ggo door EFSA veilig wordt bevonden, volgt een politieke procedure waarbij de EU-landen overleggen en uiteindelijk stemmen. Eind 2017 waren met deze procedure meer dan zestig ggo's (vooral soja en maïs) toegelaten voor import in Europa. Slechts één ggo is goedgekeurd voor de teelt: een insectresistente maïs die vooral in Spanje gekweekt wordt. De goedkeuring betreft niet enkel de

oorspronkelijk in het dossier vermelde variëteit maar ook alle rassen die door kruising daarvan afgeleid zijn. De vergunning geldt voor tien jaar en tijdens die periode wordt ook monitoring vereist, zodat eventuele problemen onmiddellijk gesignaleerd kunnen worden. Bij alle producten die ggo's bevatten of ervan afgeleid zijn, zoals sojaolie, moet dit duidelijk op het etiket vermeld worden (zie bv. fig. 5).



Fig. 5. Etiket met ggo-vermelding

De Europese ggo-regelgeving is een van de strengste ter wereld. De grote hoeveelheid onderzoeken die vereist zijn vooraleer een dossier kan worden goedgekeurd en de daaropvolgende politieke belemmeringen tot een product op de markt kan komen, zorgen voor hoogoplopende kosten bij de indiener van het dossier. Als gevolg daarvan zijn alleen grote multinationale bedrijven kapitaalkrchtig genoeg om dit proces tot een goed einde te brengen, met als resultaat monopolisering en een beperking van het aantal ggo-rassen dat op de markt wordt gebracht. Vrij uniek is dat de Europese Unie ook een nieuw dossier vraagt voor combinaties (door kruising) van al goedgekeurde ggo's. Zo moet een hybride tussen twee goedgekeurde insectresistente ggo's voor markttoelating in de EU opnieuw de hele procedure doorlopen, weliswaar met een beperktere risicoanalyse. In andere landen vallen dergelijke ggo-hybriden automatisch onder de oorspronkelijke toelatingen.

Het grootste probleem voor de Europese landbouw is de politieke blokkering van alle aanvragen voor ggo-teelttoelating, terwijl veel ggo-producten Europa binnenkomen via toegelaten import.

## Regelgeving in Amerika en Canada

In tegenstelling tot EFSA in Europa is er in de V.S. niet slechts één instantie die ggo's op hun veiligheid beoordeelt. Planten die het resultaat zijn van Agrobacterium-transformatie worden voor hun teelt door de United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service beoordeeld. Hun voedselveiligheid wordt door de Food and Drug Administration onderzocht en wanneer het om een plant gaat met daarin een '*plant-incorporated protectant*' treedt ook de Environmental Protection Agency op. De vereiste onderzoeken naar voedsel- en milieuveiligheid zijn zeer analoog aan de EU-procedure, maar na goedkeuring door de overheidsinstanties worden de ggo's gelijkgesteld met conventionele gewassen en kunnen ze zonder verdere opvolging op de markt gebracht worden. Ook zijn er in de V.S. lichtere procedures voor ggo's die gelijkwaardig zijn aan reeds goedgekeurde ggo's (dezelfde eigenschap in hetzelfde gewas). Daardoor is het er veel eenvoudiger om aan de hand van ggo-technologie bijvoorbeeld meerdere commerciële, plaagresistente aardappelrassen te voorzien dan in Europa, waar voor ieder nieuw ggo onveranderd dezelfde zware procedure geldt.

In Canada is er geen ggo-specifieke regelgeving. Daar baseert de overheid zich op de eigenschappen van het eindproduct om te besluiten of een nieuw product *novel* is – en dus bijkomende veiligheidstests moet ondergaan – niet op de methode waarmee het product is ontwikkeld (bv. veredeling of gentechnologie).

## Nieuwe veredelingstechnieken en regelgeving

Het is nuttig om in het licht van de nieuwe veredelingstechnieken even stil te staan bij de ideeën die aan de basis liggen van de huidige regelgeving. Klassiek veredelde gewassen vallen niet onder een speciale veiligheidswetgeving. De reden hiervoor is dat klassieke veredeling beschouwd wordt als een proces dat leidt tot gewassen die in het algemeen als veilig worden beoordeeld. Dat is in de praktijk ook zo, al bevestigen enkele uitzonderingen de regel. [6]

Het klassieke veredelingsproces is gebaseerd op de volgende stappen:

1. het genereren van genetische variatie – veel verschillende individuen –,
2. het selecteren van individuen met gewenste eigenschappen,
3. het verder karakteriseren en testen van die individuen,
4. het selecteren van een individu voor rasontwikkeling,
5. het uitvoeren van rassenproeven en registratie op de rassenlijst, en
6. het op de markt brengen van het ras.

Ook al is er op klassiek veredelde gewassen geen veiligheidswetgeving direct van toepassing, toch is er op een indirecte manier wetgeving die veredelaars twee keer zou moeten doen nadenken voor ze een mogelijk onveilig gewas op de markt brengen. Zo is er de algemene voedselveiligheidswetgeving waardoor het onder



meer verplicht is om voeding die concrete gezondheidsrisico's inhoudt uit de rekken te verwijderen. Er is ook de algemene milieu-aansprakelijkheidswetgeving, die operatoren aansprakelijk stelt wanneer ze stoffen of organismen in het leefmilieu introduceren die schade toebrengen aan beschermde habitats, soorten, bodems en wateren.

Dat ggo's wel onder een speciale veiligheidswetgeving vallen, heeft te maken met de nieuwe mogelijkheden die recombinant-DNA technologie creëerde en het gebrek aan ervaring met die nieuwe technologie in de jaren 1980. Uit voorzorg werd daarom regelgeving opgezet die strikte voorafgaandelijke risicoanalyses oplegt. De ggo-voedselveiligheidswetgeving stelt dat genetisch gemodificeerde voeding net zo veilig moet zijn als vergelijkbare niet-genetisch gemodificeerde – lees: klassiek veredelde – voeding. Klassiek veredelde voeding vormt geen nulrisico. Daarom kunnen ook aan de risicoanalyse voor ggo's geen onmogelijke eisen worden opgelegd.

In tegenstelling tot wat veel mensen denken is de Europese – en dus ook Belgische – ggo-wetgeving, niet puur proces-gebaseerd. De frase in de ggo-definitie "... genetische materiaal veranderd is op een wijze welke van nature ... niet mogelijk is" moet zo geïnterpreteerd worden dat ze zowel slaat op de gebruikte techniek als op het eindproduct. Dat valt af te leiden uit de manier waarop Bijlage IA (deel I) van deze wetgeving is geformuleerd. Recombinant-DNA technieken en celfusie leiden volgens deze bijlage enkel tot genetische modificatie als zij "een nieuwe combinatie van genetisch materiaal" opleveren. 'Nieuw' moet hier geïnterpreteerd worden als zijnde verschillend van wat in de natuur of via klassieke veredeling kan ontstaan. Het gebruik van nieuwe veredelingstechnieken leidt dus niet automatisch tot de vorming van een ggo. Een organisme wordt pas een ggo als het gebruik van dergelijke technieken een nieuwe combinatie van genetisch materiaal als resultaat heeft die niet in de natuur of door klassieke veredeling kan ontstaan.

De ggo-wetgeving bevat ook een uitzonderingsregel. Die bepaalt dat organismen die met behulp van bepaalde technieken van genetische modificatie tot stand zijn gekomen, niet onder de bepalingen van de wetgeving vallen. Hiermee wordt het toepassingsgebied van de wetgeving versmald. Het gaat met name om organismen die tot stand zijn gekomen met behulp van mutagenese en bepaalde vormen van celfusie. Over deze technieken werd blijkbaar geoordeeld dat zij leiden tot de vorming van genetische combinaties die in de natuur niet (zomaar) kunnen ontstaan. Desondanks vallen ze niet onder de ggo-wetgeving.

### **Vallen producten van de nieuwe veredelingstechnieken onder de ggo-wetgeving in de EU?**

Wat de producten van de nieuwe veredelingstechnieken betreft, is de situatie in de EU niet uitgeklaard. Vallen ze nu wel of niet onder de ggo-regelgeving? De juridische onzekerheid hierover, die al een decennium aanhoudt, is nadelig

voor de ontwikkeling van gewassen met gebruik van die technieken. Zeker kleine bedrijven zullen aarzelen om voor de ontwikkeling van nuttige nieuwe gewassen nieuwe veredelings technieken te gebruiken als de kans bestaat dat de gewassen onder een regelgeving vallen met voor hen onuitvoerbare gevolgen.

Niet alleen het gebruik van een techniek bepaalt of een organisme onder de ggo-wetgeving valt. Ook het eindproduct moet aan bepaalde kenmerken voldoen. De producten van de nieuwe veredelings technieken vallen in principe buiten de ggo-wetgeving als zij:

1. een genetische samenstelling hebben die ook kan ontstaan als gevolg van voortplanting en/of natuurlijke recombinatie,
2. onder de beschreven uitzonderingsregels vallen.

Voor een aantal producten van de nieuwe veredelings technieken lijkt de situatie duidelijk. Producten die wijzigingen aan hun genetisch materiaal hebben die ook kunnen ontstaan als gevolg van voortplanting en/of natuurlijke recombinatie, vallen niet onder de bepalingen van de wetgeving. *Gene editing* of precisieveredeling leidt in veel gevallen tot producten die net dit soort van wijzigingen bevatten.

### **Moeten de producten van nieuwe veredelings technieken onder strenge regels vallen?**

In het algemeen horen producten onder een speciale regelgeving thuis als daar uit veiligheidsoverwegingen gegronde redenen voor zijn. In principe kan een kleine verandering aan het erfelijk materiaal al een grote impact hebben. Toch betekent dit niet automatisch dat elk product met zo'n kleine wijziging aan speciale regelgeving onderhevig is. Dat is bijvoorbeeld ook niet het geval met de producten van klassieke veredeling. Die worden in het algemeen als veilig beschouwd, ook al bevestigen enkele uitzonderingen de regel. Het is de ervaring die we hebben met het hele proces van veredeling, tot en met het uitvoeren van rassenproeven, die leidt tot het op de markt brengen van producten die we als veilig beschouwen. Die ervaring moet ook meegenomen worden in het bepalen of, en zo ja welke, nieuwe veredelingsproducten onder een speciale regelgeving moeten vallen. De overheid moet bij het opstellen van regelgeving in dit domein rekening houden met de volgende principes. De regelgeving moet

1. steunen op degelijke wetenschappelijke kennis;
2. rekening houden met reeds opgedane ervaring met bepaalde types van producten en de manier waarop daarmee omgegaan wordt;
3. proportioneel zijn (alleen strenger zijn wanneer daartoe gegronde redenen bestaan);
4. rechtszekerheid bieden en voorspelbaar zijn (moet zonder omwegen leiden tot een toelating wanneer een dossier aan de gestelde eisen voldoet);
5. afdwingbaar zijn.

6. De regelgeving mag tot slot niet discrimineren (lees: mag dezelfde producten niet op verschillende manieren behandelen).

De eis van afdwingbaarheid betekent ook dat overheden in staat zouden moeten zijn om een onder de wetgeving vallend product technisch te onderscheiden van een product dat niet onder de wetgeving valt. Maar bij veel producten uit de nieuwe veredeling is het onmogelijk te bepalen of hun genetische samenstelling door de mens gemaakt is of spontaan is ontstaan, om de simpele reden dat de wijziging niet verschilt van wat van nature aanwezig kan zijn. Dit betekent uiteindelijk dat het voor de producten van bijvoorbeeld *gene editing* moeilijk te beargumenteren valt dat ze onder strenge wetgeving zouden moeten vallen.

## 5. Burgers en hun opinie

Oorspronkelijk heeft men de regelgeving opgesteld op grond van vragen over de veiligheid. Toen de Europese burgers argwanend werden, ten tijde van de dollekoeienziekte en de dioxinecrisis, heeft men de regelgeving verstrengd in de hoop hen te kunnen geruststellen. Een strenge regelgeving kan echter ook als effect hebben dat wantrouwige burgers nog meer vragen stellen: "Iets dat zo streng gecontroleerd moet worden, moet wel gevaarlijk zijn." Hoe wijdverbreid is dat wantrouwen? Supermarkten aarzelen om ggo-gelabelde producten aan te bieden uit vrees dat ze klanten zullen verliezen, maar is die terughoudendheid terecht?

In het algemeen wordt de Europese opinie voorgesteld als vijandig tegenover ggo's, vooral ook door organisaties die zich profileren als anti-ggo, zoals Greenpeace, Friends of the Earth, Bioforum, de Europese en nationale groene partijen enz. Een analyse van de Eurobarometer-enquête van 2010 [38] leert dat in bepaalde Europese landen meer dan de helft van de inwoners inderdaad eerder negatief staat ten aanzien van ggo's. Recentere enquêtes (bv. [39]) laten meer positieve dan negatieve attitudes zien. Zo wil slechts 10% van de ondervraagde Belgen geen ggo's eten, 38% wil dat wel en de meerderheid vraagt meer informatie voor ze beslist. Dat laatste is ook te zien in het duidelijk hogere percentage aan positieve reacties wanneer de vraag over een specifieke ggo gaat, zoals een genetisch gewijzigde appel of rijst die ziekteresistent is. Voor genetisch gewijzigde planten die weinig of niets verschillen van veredelde planten is het draagvlak over het algemeen groter dan voor transgene gewassen. In de Eurobarometer 2010 stond 55% van alle ondervraagde Europeanen positief tegenover cisgene appels, ten opzichte van 33% tegenover transgene.

Een recent Nederlands rapport besloot dat er een positieve attitude tegenover ggo's is als er een duidelijk maatschappelijk voordeel aan verbonden is. [40] De meeste Europese ondervraagden zijn enthousiast over ggo-toepassingen met een

milieu- of gezondheidsvoordeel en zijn zelfs bereid daar extra voor te betalen. [41-42] De bereidheid om ggo's te eten uit zich ook in het aankoopgedrag. In een Zwitserse studie werden aan een marktkraam in vijf steden drie duidelijk gelabelde soorten brood aangeboden. Het enige verschil was het bestanddeel maïs, dat uit conventionele, ggo- of biologische cultuur kwam. [43] Ggo-brood dat even duur was als brood met het biologische label, werd nog steeds gekocht door 20% van de klanten. Was het goedkoper, dan steeg het aantal tot één op vier klanten. Dit experiment illustreert mooi dat consumenten keuzevrijheid waarderen.

## 6. Communicatie

Wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen mogen en moeten tot een maatschappelijk debat leiden, ter controle van wat aanvaardbaar is en onder welke condities. Dat is bijvoorbeeld zeer pertinent het geval in de discussie rond de klimaatverandering. Maar net zoals in het debat rond de klimaatverandering is het niet aan de maatschappij om te oordelen welke wetenschappelijke conclusies correct zijn en welke niet. Het debat over maatschappelijke aanvaarding moet gevoerd worden op basis van correcte, op feiten gebaseerde informatie.

Uitgebreid en onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek heeft de voorbije decennia geen ggo-specifieke nadelige effecten kunnen aantonen. Over deze feiten moet duidelijk en breed gecommuniceerd worden naar de burgers en ook naar het beleid. Met de komst van de nieuwe veredelings technieken is het opportuun een regelgeving te herevalueren die uitgaat van een technologie in ontwikkeling, zoals de ggo-regelgeving er een is. Er moet een regelgeving uitgewerkt worden die een risico-evaluatie uitvoert op basis van de eigenschappen van een nieuwe plantenvariëteit, niet van de wijze waarop de nieuwe variëteit is ontwikkeld: door veredeling, door conventionele genetische modificatie of door nieuwe veredelings technieken.

## 7. Aanbevelingen

- Of het nu over de klimaatverandering of ggo's gaat: wetenschappelijke feiten zijn belangrijk.
- Het onderwijs moet nog meer energie steken in het kritisch leren omgaan met informatie, onder meer op sociale media.
- Zowel de wetenschappelijke kennis als twintig tot dertig jaar ervaring met genetisch gewijzigde planten geeft aan dat de ggo-technologie geen andere risico's met zich meebrengt dan veredeling in al haar vormen. De EU-regelgeving inzake ggo's is dan ook achterhaald en houdt geen rekening met de vooruitgang in wetenschap en technologie. Een grondige herziening dringt zich op.
- De EU-regelgeving is een belemmering voor de diversificatie van het ggo-

aanbod en werkt monopolisering in de hand. Ook om die reden dringt een grondige herziening zich op.

- Bepaalde nieuwere methoden van genetische modificatie leveren planten op die niet verschillen van planten die het resultaat zijn van veredeling. Het is wetenschappelijk noch juridisch te verantwoorden ze onder de huidige ggo-regelgeving te laten vallen.
- Genetische modificatie is een veilige technologie. De vele financiële en personeelsmiddelen die nu naar de controle en opvolging van ggo's gaan kunnen voor een groot deel beter besteed worden aan belangrijkere voedselveiligheidsproblemen.
- Het streven naar een duurzame landbouw en voedselzekerheid is veel te belangrijk om methoden die daaraan kunnen bijdragen om principiële overwegingen uit te sluiten.

## Kaderstuk: Plantenveredeling en duurzaamheid

Duurzaamheid wordt in het algemeen gedefinieerd als een status of ontwikkeling waarin op een evenwichtige manier aandacht wordt geschonken aan zowel milieu-, sociale als economische aspecten (*People, Planet, Profit*). Nieuwe plantensoorten kunnen een bijdrage leveren aan duurzame ontwikkeling als ze een of meer van deze aspecten positief weten te beïnvloeden en op voorwaarde dat dit voordeel niet wordt ongedaan gemaakt door negatieve scores op andere aspecten.

Er bestaan verschillende visies op wat in landbouw en voeding duurzaam is. Sommigen zijn van mening dat duurzaamheid enkel bereikt kan worden door biologische landbouw en natuurlijke producten. Anderen zijn ervan overtuigd dat ook hoogtechnologische innovaties van groot belang zijn voor de verduurzaming van de landbouw. De biologische landbouw scoort goed op belangrijke milieu- en dierenwelzijnsaspecten, maar heeft een significant lagere opbrengst per hectare. Daarnaast zijn biologische producten door hun hogere prijs moeilijk betaalbaar voor mensen met een laag inkomen.

Plantenveredeling heeft belangrijke bijdragen geleverd aan het veel efficiënter maken van de landbouw. Innovatieve plantenveredeling kan de landbouw nog meer verduurzamen door planten minder afhankelijk te maken van gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen, water enz. en de oogstzekerheid te vergroten. Het introduceren van meer vormen van ziekteresistentie, een efficiëntere omgang met nutriënten, eigenschappen die leiden tot minder afval in de voedselproductie, het verhogen van de algemene weerbaarheid van gewassen: het zijn stuk voor stuk concrete voorbeelden van eigenschappen die de duurzaamheid van de landbouw kunnen verhogen. Het is belangrijk op voorhand geen enkele veredelingstechnologie uit te sluiten voor het bereiken van die doelstellingen. In hoeverre een nieuw gewas een bijdrage levert aan een meer duurzame landbouw, hangt ook af van de manier waarop het in de praktijk wordt geteeld. De genetica van een gewas is immers maar een van de factoren in een veel grotere landbouwpraktijk. Voor een duurzame landbouw is het bovendien cruciaal dat er een voldoende grote variatie aan gewassen en rassen geteeld wordt.

Ook de sociaal-economische aspecten zijn belangrijk in het streven naar duurzaamheid. In dat verband wordt veel gesproken over de consolidatie in de veredelingsindustrie en de gevolgen voor de landbouwer. Een landbouwer is niet alleen gebaat bij een voldoende breed aanbod aan rassen, maar ook bij een voldoende aantal aanbieders. Er moet een gezonde concurrentie blijven bestaan. De ontwikkelingskosten en de zeer hoge registratiekosten van ggo's hebben van genetische modificatie als veredelingstechnologie een fenomeen gemaakt dat enkel toegankelijk is voor een beperkt aantal grote multinationals. Hoe hoger de regelgevingstechnische lat wordt gelegd, hoe kleiner de toegankelijkheid voor kleine en middelgrote ondernemingen (KMO's). Als er zo'n lat wordt gelegd voor nieuwe vormen van precisieveredeling, dan moet die op correcte wetenschap stoelen, proportioneel zijn en niet-discriminerend.

## Kaderstuk: Plantenveredeling en intellectuele eigendomsrechten

Bedrijven en instellingen die investeren in de veredeling van gewassen hebben recht op een billijke vergoeding voor hun inspanningen. In de plantenveredeling bestaan daarvoor twee systemen van intellectuele eigendomsbescherming: het kwekersrecht en het octrooirecht.

Het kwekersrecht beschermt nieuwe rassen, ongeacht de wijze waarop ze tot stand zijn gekomen. De houder van een kwekersrecht heeft het recht anderen te verbieden dat ras voor zaaigoed te vermenigvuldigen en te verkopen. Landbouwers mogen wel voor eigen gebruik een deel van de oogst als zaaizaad gebruiken, op voorwaarde dat zij hiervoor een vergoeding betalen aan de houder van het kwekersrecht. Dit staat bekend als het *farmers privilege*. Andere veredelaars mogen het ras vrij gebruiken voor verdere veredelingsactiviteiten: dat is de *breeders exemption*.

Met het octrooirecht kunnen uitvindingen beschermd worden die zich niet beperken tot een ras. Een octrooi is het recht om anderen het gebruik van de uitvinding te ontzeggen voor een vastgelegde periode, in ruil voor het publiek maken van de uitvinding. De meeste genetisch gemodificeerde gewassen vallen onder een octrooi. Onder het octrooirecht bestaan er geen *farmers privilege* en *breeders exemption*, wat betekent dat het octrooirecht sterker is. Het voor eigen gebruik als zaaizaad apart houden van een deel van de oogst wordt in de praktijk veelal verboden door de aankoopovereenkomst van het zaaigoed.

Ook producten van klassieke veredeling kunnen door een octrooi worden beschermd, op voorwaarde dat de uitvinding nieuw, inventief en industrieel toepasbaar is, en zich bovendien niet beperkt tot één ras. Er zijn slechts enkele voorbeelden van geoctrooierde klassieke veredelingsproducten, waarvan een gemakkelijk machinaal te oogsten broccoli het best bekend is.

Natuurlijk kunnen ook innovatieve precisieveredelingstechnieken en de producten daarvan door een octrooi worden beschermd, als zij aan de genoemde voorwaarden voldoen. Er is intussen rond CRISPR/Cas9 en varianten daarvan een woud van octrooiaanvragen ontstaan. Een beperkt aantal daarvan is intussen toegekend, maar doordat er in veel gevallen tegenstand is, is nog niet echt duidelijk welke octrooien in de plantenveredeling een dominante rol zullen spelen. Een beleid dat het gebruik van deze technieken zou beperken tot de happy few, zou het vertrouwen in de bedrijven en de producten die zij met behulp van deze technieken ontwikkelen op een onnodige manier doen kelderen. Voor een verantwoorde ontwikkeling, het gebruik van innovatieve precisieveredeling en het verwezenlijken van brede duurzaamheidsdoelstellingen zou dat geen goede zaak zijn.

## Bijlage: Voorbeelden van ggo-toepassingen

De discussie in de media gaat vaak over herbicidetolerante ggo-gewassen, maar er zijn talloze andere voorbeelden, die we hieronder illustreren. We hebben vooral gekozen voor gewassen die al in het veld staan of bijna aan commercialisering toe zijn. Daardoor zijn een aantal interessante ontwikkelingen niet opgenomen, zoals stikstof-efficiënte gewassen die een goede opbrengst leveren met veel minder meststoffen, of rijst die tijdens de teelt voor minder methaanuitstoot zorgt of in zeewater geteeld kan worden.



Fig. 6. Boer Hafizur Rahman uit Bangladesh bij zijn teelt van Bt-aubergines (BARI-varieteit 3), die met veel minder insecticiden een goede en gezonde oogst oplevert. Bron: Arif Hossain Alliance for Science.

### **Bt-aubergine**

Aubergines zijn een van de meest gegeten groenten in Bangladesh. De vrucht is voor veel boeren dan ook een belangrijke bron van inkomsten. Om hun aubergine-oogst te beschermen zien zij zich echter genoodzaakt om de planten meerdere keren per week te bespuiten met insecticiden. [44] Doen ze dat niet, dan worden de planten en de vruchten opgevreten door een rups, de eierplantfruit- en scheutboorder (*Leucinodes orbonalis*). En ondanks het vele spuiten gaat nog 20-40% van de oogst verloren door rupsenvraat. Het intense insecticidegebruik veroorzaakt bij de boeren ook gezondheidsproblemen en leidt tot een ongezond hoge dosis insecticideresidu op de verkochte aubergines en tot milieuschade.



Sinds 2014 kunnen boeren in Bangladesh vier rassen van een genetisch gemodificeerde Bt-aubergine telen die resistent is tegen de fruitboorder. De rassen zijn ontwikkeld en getest in BARI, het Bangladesh Agricultural Research Institute. Het resultaat: een grotere opbrengst, minder werk, minder kosten en dus meer inkomsten, en vooral een veel lager insecticidegebruik (ca. vijf keer minder).

Bt verwijst naar een familie van eiwitten die worden geproduceerd door de bodembacterie *Bacillus thuringiensis* (afgekort Bt). Bt-eiwitten zijn typisch giftig voor specifieke soorten insecten: zo is Cry1 giftig voor rupsen, Cry3 voor sommige keversoorten. Ze worden onder meer in de biologische landbouw gebruikt als een natuurlijk insecticide. Bt-eiwitten zijn enkel giftig voor insecten die het eiwit opeten en die de gepaste receptoren hebben in hun maag-darmkanaal. Door binding gaan de cellen lekken en functioneert de spijsvertering niet meer. Bt is niet giftig voor andere insecten, andere dieren of de mens, omdat de Bt-receptoren bij hen niet voorkomen. In plaats van Bt te spuiten op de aubergine, wat heel frequent moet gebeuren en dus veel werk en kosten met zich meebrengt – het helpt ook niet meer als de rups al in de vrucht gedrongen is – hebben onderzoekers het gen voor het Bt-eiwit in de aubergine geïntroduceerd, zodat de plant zelf het eiwit aanmaakt om zich tegen de rups te beschermen. De Bt-aubergine werd ontwikkeld en getest in India en het BARI. Daarna werden de veldproeven en de tests voor voedsel- en milieuveiligheid herhaald in Bangladesh. [45]

Bt-katoen en Bt-maïs zijn al twintig jaar op de markt en hebben geleid tot een significant lager insecticidegebruik bij die gewassen, met als resultaat meer inkomsten, minder hospitalisaties bij boeren in ontwikkelingslanden en meer nuttige insecten op hun velden. [32, 33, 46-47]

### **Herbicidetolerante soja**

Soja is het meest verhandelde landbouwproduct ter wereld, omdat het een belangrijke eiwitbron is voor veevoeder. China is de grootste invoerder met ca. 90 miljoen ton soja-import in 2016. Europa voert jaarlijks zowat 35 miljoen ton soja in. Aan de jaar na jaar toenemende vraag naar soja vanuit China kan enkel voldaan worden door per hectare hogere opbrengsten te halen of door de teeltoppervlakte uit te breiden. Die teelt gebeurt voornamelijk op het Amerikaanse continent, dat jaarlijks meer dan 300 miljoen ton sojabonen produceert. [48]

In 2016 was 78% van de sojateelt (wereldwijd ca. 120 miljoen ha) herbicidetolerant door genetische modificatie, waardoor ggo-soja met stip het meest geteelde ggo-gewas is. Herbicidetolerante soja is een voorbeeld van een ggo met een direct voordeel voor de landbouwers. De teelt ervan resulteert in een efficiënt onkruidbeheer, waardoor de werklast en de productiekosten significant dalen. Tegelijk is er met herbicidetolerante gewassen een teelt mogelijk met veel minder ploegen en niet-kerende bodembewerkingen. Deze *no-tillage*-landbouw biedt

milieuvoordelen: minder brandstofverbruik en minder CO<sub>2</sub>-emissie, een grotere CO<sub>2</sub>-opslag in de bodem en een betere bodemstructuur met meer biodiversiteit. [49-50]

De andere kant van de medaille is minder rooskleurig: een eenzijdig grootschalig gebruik van glyfosaat heeft geleid tot een sterke opkomst van glyfosaattolerante soorten onkruid en residu's, ook in het grondwater. Ook in Europa woedt de discussie over het gebruik van glyfosaat in de landbouw, hoewel in de EU geen glyfosaattolerante ggo's geteeld mogen worden. Glyfosaat wordt immers ook gebruikt om velden onkruidvrij te maken tussen teelten door.

Glyfosaat werkt in op een enzyme van de biosynthese van aromatische aminozuren in de plant. De glyfosaattolerantie van soja (en ook van maïs, katoen, suikerbiet...) is er gekomen door de plant te voorzien van een enzymevariant die niet gevoelig is voor glyfosaat. [51] Er zijn ook andere herbicidetoleranties beschikbaar, door mutatie of door de productie van een enzyme dat het herbicide inactieveert, voor herbiciden zoals onder meer glufosinaat en imidazolinonen. [52] Zo kwam men van het Franse wintertarweras Fidel door chemische mutagenese tot een imidazolinon-tolerante mutant. Dergelijke mutante herbicidetolerante planten vallen niet onder de ggo-regelgeving.

### **Virusresistente papaja**

Papaja is in veel ontwikkelingslanden een belangrijke vrucht voor een gezonde voeding. Een kwart of 100 gram papaja per dag bevat voldoende vitamine C en een vierde van de aanbevolen vitamine hoeveelheid vitamine A. Hierdoor wordt ook de opname van ijzer bevorderd. Wereldwijd wordt de productie echter bedreigd door de ringvlekkenziekte, die wordt veroorzaakt door het papaja 'ringspot'-virus (PRSV). Door deze virusziekte groeien de papajaplanten minder goed, zijn bladeren misvormd en zijn de vruchten minder in aantal en in kwaliteit. Het virus werd in 1945 op het Hawaïaanse Oahu ontdekt en verspreidde zich vanaf dan naar de andere eilanden. Tussen 1992 en 1997 daalde de papajaproductie in Hawaï door PRSV-infectie met meer dan 30%, waardoor veel boeren met de papajateelt stopten.

In de jaren 1980 ontwikkelde Cornell University (V.S.) in samenwerking met Hawaïaanse onderzoekers een genetisch gemodificeerd papajaras dat PRSV-resistent is. [53] De resistentie is gebaseerd op het activeren van het natuurlijke afweermechanisme van de plant vóór de infectie, waardoor de papaja het binnenkomende virus-RNA onmiddellijk afbreekt. [54] Na succesvolle veldproeven tussen 1992 en 1995 werd in 1996 de toelatingsprocedure gestart voor de commerciële teelt van ggo-papaja's en kwamen in 1998 de zaden ter beschikking van de Hawaïaanse boeren. Door de massale adoptie van de virusresistente papaja raakte de productie in amper vier jaar tijd weer op het niveau van voor de PRSV-problemen.



Fig. 7. Onderzoeker Dennis Gonsalvez met de virusresistente papaja (Bron D. Gonsalvez).

Analoge resistente papaja's zijn sindsdien ontwikkeld in onder meer Brazilië, China, Indonesië, Maleisië, Thailand, Venezuela, Australië en de Filippijnen. In China werd de virusresistente ggo-papaja in 2015 geteeld op 7000 ha, ongeveer 90% van de totale teeltoppervlakte voor papaja's in dat land.

De strategie om door genetische modificatie virusresistente planten te ontwikkelen is vrij eenvoudig. Op basis van de genetische informatie van het virus wordt een construct ontworpen dat na transformatie in de plant een stukje dubbelstrengig RNA produceert. Dat activeert het natuurlijk in de plant aanwezige RNAi-proces en beschermt de papaja zo tegen de virale aanval, op een manier die vergelijkbaar is met een vaccinatie. Zo zijn in de V.S. ook een virusresistente pruim en aardappel goedgekeurd voor commercialisatie en lopen onder meer in Oeganda veldproeven met virusresistente maniok.

### **Een betere aardappel**

De aardappel is belangrijk in België, zowel voor onze nationale friettrots als voor de verwerking in allerlei producten die ook in het buitenland verkocht worden. De teelt wordt echter nog steeds belaagd door de aardappelplaag, een zeer destructieve ziekte die wordt veroorzaakt door de waterschimmel *Phytophthora*

*infectans*. Rond 1845 veroorzaakte de aardappelplaag de complete mislukking van de aardappeloogst en leidde deze ramp tot de grote Ierse hongersnood. In een doorsnee jaar worden aardappelvelden in België tien tot vijftien keer bespoten met antischimmelmiddelen en in natte zomers loopt dat op tot twintig keer. De aardappel staat hierdoor op de eerste plaats wat fungicidegebruik in de Belgische landbouw betreft. In de biologische aardappelteelt probeert men de plaag te vermijden door vroeg te oogsten en vrede te nemen met een lagere opbrengst, of door koperfungiciden te spuiten.

Knoldragende Solanaceae uit Latijns-Amerika, de wilde verwanten van onze aardappel, zijn in veel gevallen resistent tegen de plaag. Die natuurlijke resistentiegenen kunnen met een ingewikkeld en langdurig kruisingsproces in commercieel bruikbare aardappelrassen geïntroduceerd worden. Zo is men in Nederland in 1959 gestart met een veredelingsproject waardoor men uiteindelijk in 2005 de rassen Bionica en Toluca op de markt kon brengen. Deze twee nieuwe, plaagresistente rassen zijn echter niet populair vanwege hun mindere smaak en ongeschiktheid voor industriële verwerking.

Cisgenese is een alternatief om plaagresistente aardappelen te kunnen ontwikkelen. [55] Hierbij wordt gebruik gemaakt van genetische modificatie om



Fig. 8. Veldproef in 2012 met genetisch gewijzigde aardappelen die resistent zijn tegen de aardappelplaag (middenperk), in vergelijking met controle-Bintjes (de twee rijtjes met bruine planten). Bintje-aardappelen zijn erg gevoelig voor de plaag en hielden niet lang stand. In de veldproef werd geen enkele keer gespoten tegen de plaag, terwijl boeren in dat seizoen tot twintig fungicidebehandelingen uitvoerden om de plaag onder controle te houden.

dezelfde (wilde) natuurlijke resistentiegenen in een commercieel aardappelras te introduceren. Dit gaat sneller en verloopt gericht dan door veredeling, met als bijkomende voordelen dat je meerdere resistenties kunt combineren en dat de goede raseigenschappen van de aardappelvariëteit behouden blijven. In Vlaanderen wordt een cisgeen Bintje ontwikkeld dat vier plaagresistenties combineert.

In de V.S. is men al een stapje verder. Daar brengt de firma Simplot de Innate®-aardappel op de markt, in vier rassen. Behalve plaagresistent is deze aardappel minder gevoelig voor stootblauw, bewaart hij beter, verkleurt hij niet na het schillen of snijden en vormt bij het frituren een kleinere hoeveelheid van de mogelijk kankerverwekkende stof acrylamide. [56] Dat laatste aspect kwam onlangs in de media toen de EU het typisch Belgische frietrecipe ter discussie stelde wegens te veel acrylamidevorming. Al deze verbeteringen zijn het resultaat van cisgenese of RNAi. Zo is er bijvoorbeeld door RNAi een veel lagere hoeveelheid aanwezig van het enzym polyfenoloxidase, dat stootblauw en andere verkleuringen in de hand werkt. In de V.S. zijn sinds kort ook genetisch gewijzigde appels te koop die bij het opensnijden niet zo snel verkleuren. [57]

### **Schimmelresistente tarwe**

Meeldauw is een veel voorkomende ziekte bij tarwe. Ze wordt veroorzaakt door de schimmel *Blumeria graminis*. Die tast vooral het blad aan en is duidelijk zichtbaar als witte schimmelplekken, die op een moment grijs en later nog donkerder worden. De ziekte tast de fotosynthetische capaciteit van de plant aan, wat resulteert in kleinere graankorrels en een verminderde opbrengst. Wanneer de schimmel vroeg toeslaat en de weersomstandigheden schimmelmultiplicatie bevorderen, kan de opbrengstdaling tot 40% bedragen.

De schimmel maakt in tarwe dankbaar gebruik van de aanwezigheid van het *MLO*-gen, dat de afweer tegen de infectie onderdrukt. Uit wetenschappelijk onderzoek is gebleken dat, wanneer het equivalent van het *MLO*-gen in zandraket, gerst of tomaat niet langer functioneel is, deze planten duurzaam resistent zijn tegen het type meeldauw dat ze aantast. In tarwe zijn echter in het *MLO*-gen nooit spontane of geïnduceerde wijzigingen aangetroffen die de plant resistent maken tegen de schimmel. Dit komt doordat het *MLO*-gen in drie varianten aanwezig is en doordat tarwe hexaploid is. Er zijn dus zes kopieën van het gen, die allemaal uitgeschakeld moeten zijn om tot een functionele resistentie te komen.

Chinese onderzoekers zijn er nu dankzij de recente precisieveredelingstechnieken in geslaagd de zes *MLO*-genen in één klap uit te schakelen. [58] De zo verkregen tarwe blijkt perfect resistent te zijn tegen meeldauw. In dit specifieke geval gebruikten de onderzoekers niet CRISPR, maar de analoge TALEN-technologie, die zo ontworpen is dat in de zes *MLO*-genen tegelijk een knip wordt gegeven. Die

wordt vervolgens door de van nature in cellen aanwezige DNA-reparatiemachinerie hersteld, waarbij tijdens het herstel spontaan kleine wijzigingen optreden. Er gaan tijdens zo'n herstel immers vaak enkele DNA-letters verloren, wat resulteert in een gen dat niet langer functioneel is. Een bijkomend voordeel van deze precisieveredelingstechniek in vergelijking met de klassieke kruisingsveredeling is dat de raseigenschappen van de gebruikte tarwe behouden blijven.

### **Droogtetolerante maïs dankzij biotechnologie**

Ieder jaar worden gewassen overal ter wereld aangetast door droogte, wat leidt tot een aanzienlijk opbrengstverlies. Hoe groot dit verlies is, hangt af van de duur van de droogte en van het stadium waarin de plant zich bevond toen de droogte begon; bij maïs kan het verlies oplopen tot 30% of meer. De opwarming van de aarde zal dit fenomeen nog versterken omdat droogte vaker zal voorkomen, veelal in combinatie met hitte. De extreem hoge temperaturen die we nu vooral in het zuiden van Europa zien zijn een voorbode van wat ook ons te wachten staat. Daarom wordt er zeer veel onderzoek verricht naar droogtetolerantie en zoeken bedrijven naar innovatieve oplossingen om het opbrengstverlies door watertekort te verminderen. Zo gebruikten Syngenta en Pioneer geavanceerde veredelingstechnieken en moleculaire biologie om respectievelijk Agrisure Artesian en Optimum AQUAmax maïs-hybriden op de markt te brengen. Die doen het merkbaar beter bij droogte dan de traditionele hybriden. Monsanto bracht de droogteresistente Genuity DroughtGard-hybriden op de markt. Die kwamen



Fig. 9: In Afrika test het WEMA-project (WEMA = Water Efficient Maize for Africa, <https://wema.aatf-africa.org/>) nieuwe maïsrassen die beter tegen droogte bestand zijn. De foto is genomen in januari 2017, in de eerste ggo-veldproef van Tanzania (Dodoma). Bron: Hannah Smith Walker, Alliance for Science.



tot stand door biotechnologie: er werd een gen ingebracht van een natuurlijk voorkomende bodembacterie, die de plant beschermende eigenschappen biedt onder droogtestress. [59] De DroughtGard-planten hebben een 5 tot 7% hogere opbrengst bij droogte en de technologie heeft geen effect op de opbrengst in condities zonder watertekort. De planten gaan efficiënter met het beschikbare water om. Het is de algemene verwachting dat er de komende jaren steeds meer biotechnologische oplossingen op de markt zullen komen die planten beter beschermen tegen droogte.

### **Biotech superfoods: purperen tomaten helpen in de strijd tegen chronische ziekten**

Planten bevatten duizenden metabolieten, waarvan een groot aantal van nature een heilzame werking hebben voor de mens. Zo spelen fenolen in groenten en fruit een centrale rol in de preventie van schadelijke oxidatiereacties. Ze zijn de actieve bestanddelen in zogenaamde *superfoods* en verhinderen de ontwikkeling van chronische aandoeningen, zoals bepaalde kankers, hart- en vaatziekten, obesitas en ouderdomsgerelateerde degeneratie. Er zijn sterke aanwijzingen dat een dieet rijk aan antioxidantia kan helpen bij het voorkomen van chronische aandoeningen. Tot de actieve bestanddelen kunnen de anthocyanen gerekend worden, waartoe de paarse kleurstoffen behoren die onder meer in blauwe en zwarte bessen zitten. Ook veel wilde tomaten bevatten deze anthocyanen, in tegenstelling tot gekweekte varianten.

Een team van Britse wetenschappers die zijn verbonden aan het John Innes Institute in Norwich, slaagde erin purperen tomaten te creëren door het toevoegen van twee genen uit de leeuwenbek. [60] Deze transgene tomaten hebben een concentratie aan anthocyanen die even hoog ligt als in zwarte en blauwe bessen. Dergelijke niveaus konden niet met klassieke veredeling gehaald worden. Tests



Fig. 10. De purperen tomaten produceren meer anthocyanen, waardoor ze ook beter bestand zijn tegen schimmelziektes.  
Bron: Hsi-Hua Wang (lab Cathie Martin).

toonden een verminderd risico op kanker bij muizen die daar heel vatbaar voor zijn. Een verlenging van de levensduur met 30% werd vastgesteld bij de muizen die in hun dieet purperen in plaats van rode tomaten kregen. [60] Bovendien is de houdbaarheid van de purperen tomaat meer dan tweemaal zo lang als die van de rode tomaat en is ze resistenter tegen de schimmel *Botrytis cinerea*, die vruchtrot veroorzaakt. [61] Een voordeel is ook dat de vruchten langer aan de plant kunnen rijpen, waardoor ze smaakvoller zijn.

Voor het op grote schaal kweken van de purperen tomaten moest men naar Canada uitwijken, aangezien de Europese wetgeving het kweken van transgene tomaten alsnog verbiedt. In de universitaire ziekenhuizen van Norfolk en Norwich is er een begin gemaakt met klinische tests van het tomatensap. Men wil zo nagaan of het vruchtensap effectief helpt in de preventie van hart- en vaatziekten bij de mens.

### **Biofortificatie: biotechnologie biedt een oplossing voor het probleem van 'verborgen honger'**

In april 2016 stelden de Verenigde Naties zich tot doel om tegen 2030 alle vormen van ondervoeding uit de wereld te helpen. Hoewel acute honger (calorische ondervoeding) verminderd is en nog zowat 800 miljoen individuen treft, lijden momenteel ruim 2 miljard mensen aan 'verborgen honger' door een tekort aan vitamines en mineralen, het gevolg van eenzijdige voeding. Micronutriënten zijn zeer schaars in de belangrijkste basisvoedingsgewassen van meer dan de helft van de wereldbevolking: rijst, maïs, tarwe, maniok en aardappel. Zij zijn hun dagelijkse bron van calorieën. Terwijl een gevarieerd dieet vanzelfsprekend de ideale situatie is om tekorten te vermijden, blijkt dit in de praktijk vaak moeilijk te realiseren. Er is nood aan alternatieve oplossingen.

Om 'verborgen honger' te bestrijden kunnen supplementen gebruikt worden in de vorm van pillen of door toevoegingen aan het meel, maar deze oplossingen zijn moeilijk haalbaar in ontwikkelingslanden. Biofortificatie van haar kant is een strategie waardoor de plant zelf meer micronutriënten gaat produceren. Het belang ervan werd recent erkend door de toekenning van de Wereldvoedselprijs 2016 in dit domein. [62] In sommige gevallen kunnen goede resultaten bereikt worden met conventionele veredeling. Dat is bijvoorbeeld het geval met de verhoging van provitamine A (beta-caroteen) in de zoete aardappel. In andere gevallen kan de benodigde vermeerdering van het micronutriënt niet op die manier gehaald worden, omdat het niveau van het micronutriënt in het geoogste product, zoals bijvoorbeeld de zaden of de vrucht, veel te laag is, en de diversiteit in het gehalte van dat micronutriënt in wilde variëteiten ontoereikend is. In dergelijke gevallen bestaat de enige oplossing erin de genen toe te voegen door genetische modificatie. Een heel goed voorbeeld is de verhoging van vitamine A en vitamine B<sub>9</sub> (folaten) in rijst.





Fig. 11. Gouden rijst (links) bevat meer provitamine A dan gewone rijst. Provitamine A is hetzelfde pigment dat in wortels voorkomt. Bron: Ingo Potrykus.

Gouden Rijst, dat is rijst met een verhoogd gehalte aan beta-caroteen (provitamine A), werd gecreëerd door Zwitserse en Duitse wetenschappers [63], maar zal wellicht pas in 2018 gecommmercialiseerd worden, met name in Bangladesh. De te complexe wetgeving en anti-ggo-acties hebben de vermarkting jarenlang tegengehouden. Door armoede en eenzijdige voeding lijden wereldwijd zo'n 250 miljoen kinderen aan vitamine A-deficiëntie en worden er jaarlijks tussen 250.000 en 500.000 van hen blind. Gouden Rijst kan hun een beter bestaan bieden. De lokale rijstrassen waarin het ggo-kenmerk werd ingekruist, bevatten voldoende beta-caroteen, waardoor 200 gram rijst al in de helft van de dagelijks aanbevolen hoeveelheid vitamine A kan voorzien.

Ook de verwezenlijkingen op het gebied van folaten (vitamine B<sub>9</sub>) in rijst zijn hoopgevend. Naast bloedarmoede kan een folaattekort bij zwangere vrouwen leiden tot een gebrekkige ontwikkeling van de neurale buis van het embryo. Dat kan op zijn beurt spina bifida veroorzaken, een open rug. In bepaalde regio's van China en India melden studies ruim tien keer meer dergelijke afwijkingen dan in het Westen. Om gezond te blijven hebben volwassenen zowat 400 microgram folaten per dag nodig en zwangere vrouwen 600 microgram. Om in een portie rijst van 150 gram de dagelijks aanbevolen hoeveelheid folaten te verkrijgen tijdens de zwangerschap, moeten we gaan naar een 120-voudige verhoging van folaten in de rijstkorrel.

Onderzoekers van de UGent ontwikkelden door genetische wijziging rijstlijnen met tot 150 maal hogere folaatgehaltes, die ook stabiel zijn bij lange bewaring in

hoge temperaturen. [64] Deze lijnen kunnen gekruist worden met lokale rassen die worden geconsumeerd in landen waar grote bevolkingsgroepen aangewezen zijn op rijst als basisvoedsel. Bovendien kan met deze prototypes en de Gouden Rijst gewerkt worden aan multibiofortificatie, waarbij door een combinatie van genen die zijn betrokken bij de aanmaak van diverse vitamines en bij de opname van mineralen, een meer alomvattende oplossing kan worden aangereikt tegen 'verborgen honger'.

### **Hypoallergene appel**

Eén tot twee procent van de volwassen bevolking kampt met een voedselallergie en dat aandeel neemt nog toe. In Europa werden acht categorieën voeding aangeduid als extra risicovol voor mensen met voedselallergieën, met als bekende voorbeelden noten en soja. Als er een reële kans bestaat dat deze producten of afgeleiden ervan in de voeding aanwezig zijn, moet dit op het etiket vermeld worden. Er zijn ook producten waarvoor deze verplichting niet geldt en die toch allergieën kunnen veroorzaken. De appel is er daar één van. Net zoals bij veel voedingsproducten die allergieën kunnen veroorzaken zijn er in appels meerdere eiwitten (allergenen) aanwezig die een allergische reactie kunnen veroorzaken. Eén daarvan is de hoofdboosdoener, het Mald1-appleiwit.

De appel heeft 31 Mald1-genen, waarvan er twintig in het fruit tot expressie komen. [65] Deze grote hoeveelheid maakt het zo goed als onmogelijk om de genen door klassieke veredeling kwijt te raken. Daar is een andere aanpak voor nodig. Een mogelijkheid is de expressie van de Mald1-genen te onderdrukken met RNAi. Onderzoekers in Nederland zijn er op die manier al in geslaagd de expressie van het Mald1-eiwit in Elstar-appels in hoge mate te reduceren (0,1-16,4% van de oorspronkelijke hoeveelheid). [66] Wanneer allergische personen de appels consumeerden, bleken de allergische reacties drastisch verminderd te zijn. Zo toonden ze aan dat het verminderen of elimineren van Mald1 reële klinische voordelen oplevert.

De moderne precisieveredeling die gebruik maakt van het CRISPR/Cas-systeem biedt nu de mogelijkheid om appels te maken waarin de Mald1-genen in één klap compleet uitgeschakeld worden. Zo veel genen in één keer uitschakelen is voor planten niet eerder gerapporteerd, maar in varkens is men erin geslaagd om met CRISPR alle 62 in het genoom geïnsereerde kopieën van een retrovirus uit te rangeren. [67]

## Bijlage: Populaire ggo-mythes

Een belangrijk discussiepunt is dat de meeste geteelde ggo's gecommmercialiseerd zijn door multinationale bedrijven die patenten bezitten voor die ggo's en winst willen maken. Dat klopt en is mede te wijten aan de regulerende aspecten die met de jaren steeds zwaarder en duurder geworden zijn, en ook aan de tegenstand, die het steeds moeilijker maakt om veldproeven uit te voeren zonder veel extra geld aan bewaking te besteden. De virusresistente papaja in Hawaï is ontwikkeld en op de markt gebracht door een universiteitsprofessor (zie de casestudy over virusresistente papaja's hierboven) en was nog net toegelaten voor commercialisering vóór de tegenstand tegen ggo's tot daar was doorgedrongen. De latere proefvelden in Thailand met lokale virusresistente papaja's zijn door Greenpeace vernietigd.

Veel discussies over ggo's zijn niet op feiten maar op mythes gebaseerd. We lichten er enkele toe.

### **Mythe 1: ggo's zijn onnatuurlijk in tegenstelling tot veredeling.**

De bacterie *Agrobacterium* heeft in de natuur al transformaties van planten gerealiseerd die niet onder de ggo-regelgeving vallen omdat ze niet door de mens gebeurd zijn (bv. zoete aardappel, tabak, leeuwenbekje). Als je het eindresultaat van een ggo bekijkt in vergelijking met een plant die het resultaat is van bepaalde vormen van veredeling, dan is de veredelde plant veel drastischer gewijzigd. In de veredeling wordt ook gewerkt met een kruising tussen soorten en/of bestraling om mutaties te induceren of chromosomale breuken te veroorzaken. Moderne tarwerassen bevatten DNA van grassen dat via kruising geïntroduceerd werd en door bestraling losgeschoten is van de graschromosomen. Daarna is het door de herstelenzymen aan een tarwechromosoom gehecht.

### **Mythe 2: ggo's worden niet getest en zijn onveilig.**

Bijna alle onderzoeken en publicaties ondersteunen de stelling dat gewassen die het resultaat zijn van genetische modificatie veilig zijn. De analyses zijn lang niet allemaal door bedrijven uitgevoerd. De Europese Unie heeft de voorbije twintig jaar heel veel geld geïnvesteerd in ggo-veiligheidsonderzoek met projecten aan universiteiten en onderzoeksinstituten. Helaas zijn er enkele publicaties die op minderwaardig onderzoek of op verkeerde interpretaties van gegevens gebaseerd zijn, die het tegendeel beweren en de pers gehaald hebben. Ze worden op internet gretig verspreid om de indruk te wekken dat ggo's onveilig zijn. Niets is minder waar: ggo's zijn de best geteste voedingsmiddelen ooit vanwege de grondige bioveiligheidsanalyses die moeten gebeuren voor een ggo goedgekeurd kan worden. Aanbevolen literatuur: [15-16]

### **Mythe 3: ggo's zijn steriel door de terminator.**

Deze volstrekt foute bewering wordt op grote schaal verspreid door organisaties (en politieke partijen) die zich anti-ggo opstellen. Terminatortechnologie bestaat uit het

tot expressie brengen van een celdodend gen in het nieuwe zaad van een aangeplant gewas, zodat dit zaad niet kan kiemen in de volgende generatie. De strategie is geöctrooieerd als een manier om te verhinderen dat boeren zelf ggo-zaad zouden vermeerderen en om verspreiding van ggo's tegen te gaan. Het principe is echter nooit in commerciële toepassingen gebruikt.

Dit is een voorbeeld van een website met foute informatie (groen.be/vraag\_enantwoordgmo\_381.aspx, geconsulteerd op 9 november 2017): "**Onafhankelijkheid van boeren in het gedrang**: ggo-landbouw maakt boeren afhankelijk van grote agroconcerns omdat er vaak een 'terminator-gen' wordt ingevoerd, waardoor de ggo-planten geen of onvruchtbaar zaad vormen. Boeren kunnen vervolgens geen eigen zaaizaad voor het volgende seizoen oogsten en onderling uitwisselen, wat vooral in ontwikkelingslanden een ramp is."

**Mythe 4: een ggo bestaat uit slechts één ras en leidt zo tot een grote monocultuur.**

Een goedgekeurd ggo kan gebruikt worden om door kruising nieuwe rassen en hybriden te maken, die automatisch onder hetzelfde goedkeuringsdossier vallen. Aldus kan men op basis van een ggo rassen genereren die aangepast zijn aan een ander klimaat, bodem enz. Zo zijn in Spanje alleen al een 200-tal rassen van de Bt-mais beschikbaar. In Argentinië zijn sinds het begin van deze eeuw meer dan 500 nieuwe roundup-tolerante sojarassen geregistreerd. [68-69]

**Mythe 5: Bt-katoen is de oorzaak van de sterke stijging van het aantal zelfmoorden in India.**

In India hebben heel wat arme boeren grote schulden en plegen sommigen ten einde raad zelfmoord. Dit fenomeen is echter niet rechtstreeks gerelateerd aan de teelt van Bt-katoen. Integendeel, boeren die Bt-katoen telen gaan er meestal economisch op vooruit. [32, 70-71]

**Mythe 6: de octrooien van multinationale bedrijven zijn mede de reden waarom er zo weinig ggo's zijn die specifiek in het voordeel zijn van ontwikkelingslanden.**

Alle octrooi-problemen rond Gouden Rijst waren in zes maanden uitgeklaard, waardoor de rijst gratis aan de lokale kleine boeren verdeeld kan worden. Bovendien zijn de meeste patenten op ggo's niet geldig in veel ontwikkelingslanden, omdat de aanvrager slechts betaald heeft voor een aanvraag in specifieke andere landen. Het zou wel nuttig zijn meer publiek gefinancierde inspanningen te leveren om ggo's met voordelen voor arme boeren in ontwikkelingslanden te doneren, in het kader van ontwikkelingshulp, of voor minimale kosten te verspreiden.

## Bijlage: Verklarende woordenlijst

**Agrobacterium:** een bodembacterie die in de natuur een stukje van haar eigen DNA overdraagt naar de plant, waar het dan in het genoom ingebouwd wordt. In de natuur stimuleert de bacterie op die manier de vorming van een gezwel of snelgroeïende wortels die door de bacterie als voedselbron kunnen gebruikt worden. In het laboratorium is deze bacterie aangepast, zodat elk gewenst stukje DNA naar de plant overgebracht kan worden zonder de vorming van een gezwel of wortels.

**Allel:** variant van een gen. Elk hoger (diploïd) organisme heeft van elk gen twee allelen die op de homologe chromosomen liggen. Eén van die allelen wordt door elke ouder via de voorplantingscellen doorgegeven aan de nakomelingen. Bij planten komt dikwijls een hogere ploïdie voor, wat meer allelen betekent. Tarwe is hexaploïd en heeft van elk gen zes allelen.

**Biofortificatie:** aanpassen van een plantenmetabolisme met het oog op hogere concentraties vitamines (bv. vitamine A), mineralen (bv. ijzer) of andere essentiële voedingsstoffen. Biofortificatie kan vaak bekomen worden door veredeling, maar in andere gevallen enkel door genetische modificatie.

**Bt:** *Bacillus thuringiensis*, een bacterie die in de natuur insecten doodt door de productie van eiwitten die specifiek toxisch zijn voor een bepaalde insectengroep. De bacterie en haar endosporen worden in de biologische landbouw gebruikt als natuurlijk insecticide. De genen die voor de Bt-eiwitten coderen zijn door genetische modificatie in gewassen geïntroduceerd om hen te beschermen tegen insectenvraat, bv. Bt-maïs, Bt-aubergine, Bt-katoen.

**Cisgenese:** een vorm van genetische transformatie die enkel gebruik maakt van genen die ook via kruising binnengebracht kunnen worden.

**CRISPR-Cas9:** een combinatie van CRISPR= *clustered regularly interspaced short palindromic repeats* en het Cas9-enzym die aangepast kan worden om een specifieke sequentie te knippen via een RNA dat het DNA herkent en het Cas-nuclease dat op die plaats knipt.

**DNA** of DeoxyriboNucleïneZuur (A van *acid*, zuur): de moleculaire drager van de genetische informatie. is een dubbele helix waarbij elke streng bestaat uit een suikerfosfaatstijl en verbonden is door stikstofhoudende basenparen. De vier mogelijke basen zijn de lettercodes van de genetische informatie die vastligt in de specifieke volgorde (sequentie) van de basen. Het menselijk genoom bevat ongeveer drie miljard basenparen.

**Fenotype:** een eigenschap of combinatie van eigenschappen van een organisme als resultaat van het genotype en de invloed van de omgeving.

**Gen:** de basiseenheid van erfelijke eigenschappen. Is een stukje DNA dat voor een eiwit codeert en dat dus bijdraagt tot het fenotype. (Dit is een vereenvoudigde definitie, want bepaalde genen coderen voor een RNA dat niet naar eiwit vertaald wordt. Er zijn nog andere uitzonderingen.)

**Gene editing:** gericht aanpassen van een gen, ter plaatse in het genoom.

**Ggo (genetisch gemodificeerd organisme)** (wettelijke definitie in de EU Directive 2001/18/EC (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32001L0018>): een organisme, met uitzondering van menselijke wezens, waarvan het genetische materiaal veranderd is op een wijze welke van nature door voortplanting en/of natuurlijke recombinatie niet mogelijk is. In principe dus toepasselijk voor elk soort organisme behalve de mens, in de praktijk meestal verwijzend naar planten.

**Genetische wijziging/genetische modificatie:** worden vaak als synoniemen gebruikt, maar kunnen ook respectievelijk verwijzen naar alle mogelijke methoden die de erfelijke eigenschappen van een organisme veranderen (inclusief veredeling) en methoden die leiden tot een ggo (wettelijke definitie). De Engelse term *genetic engineering* is een beter alternatief omdat die verwijst naar de combinatie van recombinant DNA en transformatie om tot een genetische wijziging te komen.

**Genoom:** geheel van alle DNA in een organisme.

**Genotype:** de specifieke DNA-sequentie van het genoom of een deel ervan.

**Hybride:** de nakomeling van een kruising tussen twee inteeltlijnen (ouders die voor alle eigenschappen twee dezelfde allelen hebben). Hybride nakomelingen zijn allemaal identiek en hebben meestal een verhoogde weerstand en opbrengst ten opzichte van de ouders.

**Intragenese:** is een vorm van genetische transformatie die enkel gebruik maakt van DNA dat ook via kruising binnengebracht zou kunnen worden. Intragenese verschilt van cisgenese door het herschikken van dit DNA om een nieuw gen te creëren.

**Inteeltlijn:** planten verkregen door herhaaldelijke zelfbestuiving, zodat ze na een aantal generaties voor alle eigenschappen twee dezelfde allelen hebben. Hierdoor zijn alle nakomelingen gelijk aan elkaar en aan de ouders.

**Merker-geassisteerde selectie (MAS) of veredeling:** de selectie van de meest geschikte nakomelingen werd vroeger uitgevoerd door hun eigenschappen te vergelijken. Bepaalde eigenschappen worden echter sterk beïnvloed door de omgeving, andere kunnen enkel met tijdrovende experimenten geanalyseerd

worden, zoals de fruitkwaliteit van bomen. Tegenwoordig kan men vlot en goedkoop achterhalen welke DNA-stukjes verantwoordelijk zijn voor een bepaalde eigenschap. De af- of aanwezigheid van dat DNA-stukje (de merker) kan in de nakomelingen gebruikt worden om de selectie uit te voeren.

**mRNA:** *messenger RNA*. Een RNA-molecule die van DNA afgeschreven wordt en dient om de genetische informatie te vertalen naar eiwit.

**Recombinant DNA-technologie:** het enzymatisch knippen en plakken van DNA om nieuwe gencombinaties te maken, gevolgd door het transformeren van dit DNA in een organisme.

**RNA:** ribonucleïnezuur. Bestaat uit een enkele streng met een suikerfosfaatstijl en stikstofhoudende basen. RNA wordt van DNA afgeschreven en kan als dusdanig functioneren, bv. in de controle van cellulaire processen. Het kan ook mRNA zijn.

**RNAi:** een natuurlijk fenomeen waarbij cellen dubbelstrengig RNA herkennen als iets vreemds (bv. afkomstig van een virus) en het in kleine stukjes (siRNA) breken. Die kunnen op hun beurt het overeenkomstige RNA herkennen en zorgen voor de afbraak. Het proces kan aangepast worden om een specifiek mRNA uit te schakelen.

**Synthetische biologie:** het ontwerpen en bouwen (door chemische DNA-synthese) van nieuwe artificiële biologische *pathways* of organismen, of het herontwerpen van bestaande biologische systemen. (Dit is een van de vele mogelijke en sterk verschillende definities. Zie annex III van het document op de website [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenih\\_r\\_o\\_044.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_044.pdf).)

**TALEN** (*Transcription Activator Like Endonuclease*): een eiwit dat een combinatie is van een DNA-herkendend eiwit (TAL) en een enzym dat DNA knipt. De combinatie kan aangepast worden om specifieke sequenties in een genoom te knippen.

**Transgenese:** het proces waarbij DNA (eventueel aangepast door recombinant DNA-technologie) door transformatie geïntroduceerd wordt in een organisme. Het nieuwe DNA kan afkomstig zijn van een niet-verwante soort, bv. een bacterie die het menselijke insulinegen bevat.

**Transformatie of genetische transformatie:** techniek om DNA in een organisme binnen te brengen, op cellulair niveau. In het geval van een plantencel wordt uit de getransformeerde cel een volledige plant geregenereerd.

**Veredeling:** het door de mens verbeteren van planten, o.a. door gericht kruisen en vervolgens de selectie van de beste nakomelingen.

## Referenties

- [1] <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- [2] [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:31990L0220 &from=NL](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:31990L0220&from=NL)
- [3] [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:303dd4fa-07a8-4d20-86a8-0baaf0518d22.0009.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:303dd4fa-07a8-4d20-86a8-0baaf0518d22.0009.02/DOC_1&format=PDF)
- [4] Inghelbrecht et al. (2017). When technology is more than instrumental: How ethical concerns in EU agriculture co-evolve with the development of GM crops. *Agriculture and Human Values* 34, 543 -557.
- [5] [pure.ilvo.vlaanderen.be/portal/en/activities/the-gmdebate-is-not-a-gm-debate-reflections-on-the-gmdebate-in-europe-from-a-social-sciences-perspective\(c0bc4755-f869-4156-95f7-dfb44d1fd12a\).html](http://pure.ilvo.vlaanderen.be/portal/en/activities/the-gmdebate-is-not-a-gm-debate-reflections-on-the-gmdebate-in-europe-from-a-social-sciences-perspective(c0bc4755-f869-4156-95f7-dfb44d1fd12a).html)
- [6] [https://www.kuleuven.be/metaforum/docs/pdf/wg\\_5\\_n.pdf](https://www.kuleuven.be/metaforum/docs/pdf/wg_5_n.pdf)
- [7] *EFSA Journal* 2011; 9(10): 2390.
- [8] [www.basf.com/us/en/company/news-and-media/science-around-us/amflora-makes-paper-and-yarn-glossier-and-stronger.html](http://www.basf.com/us/en/company/news-and-media/science-around-us/amflora-makes-paper-and-yarn-glossier-and-stronger.html)
- [9] Hovekamp-Hermelink et al. (1987). Isolation of an amylose-free starch mutant of the potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theor Appl Genet* 75: 217–221.
- [10] [www.britannica.com/biography/Norman-Borlaug](http://www.britannica.com/biography/Norman-Borlaug)
- [11] Friebe et al. (1996). Characterization of wheat–alien translocation conferring resistance to diseases and pests: Current status. *Euphytica* 91:59–87.
- [12] Jacobsen & Schouten (2007). Cisgenesis strongly improves introgression breeding and induced translocation breeding of plants. *Trends Biotechnol.* 2007, 25, 219–223, doi:10.1016/j.tibtech.2007.03.008.
- [13] Kamthan et al. (2015). Small RNAs in plants: recent development and application for crop improvement. *Front. Plant Sci.*, 02 April 2015 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00208>).
- [14] [edepot.wur.nl/357723](http://edepot.wur.nl/357723)
- [15] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/23395.
- [16] Bartholomaeus(2018). Regulating safety of novel food and genetically modified crops. *Advances in Botanical research* doi.org/10.1016/bs.abr.2017.11.003
- [17] Ossowski et al. (2010). The Rate and Molecular Spectrum of Spontaneous Mutations in *Arabidopsis thaliana*. *Science* 327, 92-94. DOI: 10.1126/science.1180677.



- [18] Kawakatsu et al. (2013). A Whole-Genome Analysis of a Transgenic Rice Seed-Based Edible Vaccine Against Cedar Pollen Allergy. *DNA Research* DOI: 10.1093/dnares/dst036.
- [19] Anderson et al. (2016). Genomic variation and DNA repair associated with soybean transgenesis: a comparison to cultivars and mutagenized plants. *BMC biotechnology* 16, 41.
- [20] Schouten et al. (2017). Re-sequencing transgenic plants revealed rearrangements at T-DNA inserts, and integration of a short T-DNA fragment, but no increase of small mutations elsewhere. *Plant Cell Reports*, 36, 493–504. DOI: 10.1007/s00299-017-2098-z
- [21] Moran & Narvik (2010). Lateral transfer of genes from fungi underlies carotenoid production in aphids. *Science* 328: 624-627. DOI: 10.1126/science.1187113
- [22] Wybouw et al. (2014). A horizontally transferred cyanase gene in the spider mite *Tetranychus urticae* is involved in cyanate metabolism and is differentially expressed upon host plant change. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 42, 881 – 889. 10.1016/j.ibmb.2012.08.002
- [23] Noon & Baum (2016). Horizontal gene transfer of acetyltransferases, invertases and chorismate mutases from different bacteria to diverse recipients. *BMC Evolutionary Biology* 16 Nr.74.
- [24] Graham et al. (2008). Lateral Transfer of a Lectin-Like Antifreeze Protein Gene in Fishes. *PLoS ONE* 3(7): e2616. doi:10.1371/journal.pone.0002616
- [25] Intriери & Buiatti (2001). The horizontal transfer of *Agrobacterium rhizogenes* genes and the evolution of the genus *Nicotiana*. *Mol Phylogenet Evol* 20(1):100–110.
- [26] Kyndt et al. (2015). The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T-DNAs with expressed genes: An example of a naturally transgenic food crop . *Proc Natl Acad Sci USA* 112, 5844–5849. doi:10.1073/pnas.1419685112
- [27] Ricroch et al. (2011). Evaluation of genetically engineered crops using transcriptomic, proteomic and metabolomic profiling techniques. *Plant Physiol.*, 155 (2011), 10.1104/pp. 111.173609
- [28] Herman & Price (2013). Unintended compositional changes in genetically modified (GM) crops: 20 years of research. *J. Agric. Food Chem.* 61:11695–11701.
- [29] Snell et al. (2012). Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. *Food Chem. Toxicol.* 50:1134–1148.
- [30] De Francesco (2013). How safe does transgenic food need to be? *Nat. Biotechnol.* 31:794–802.

- [31] Nicolai et al. (2013). An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Crit Rev Biotechnol.* 2013:1-12. doi:10.3109/07388551.2013.823595.
- [32] Klumper & Qaim (2014). A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLoS One*, 9(11), e111629.
- [33] Lu et al. (2012). Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* 487:362–365.
- [34] Van Eenenaam & Young (2014). Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. *Journal of Animal Science.* 92:4255-4278.
- [35] <http://www.pewinternet.org/2015/01/29/public-and-scientists-views-on-science-and-society/>
- [36] Friedman et al. (1997). Potato Glycoalkaloids: Chemistry, Analysis, Safety, and Plant Physiology. *Crit. Rev. Plant. Sci.* 16, 55–132.
- [37] <http://bch.cbd.int/protocol/>
- [38] [http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs\\_341\\_winds\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/archives/ebs/ebs_341_winds_en.pdf)
- [39] Delwaide et al. (2015). Revisiting GMOs: Are There Differences in European Consumers' Acceptance and Valuation for Cisgenically vs Transgenically Bred Rice? *PLoS ONE*10(5): e0126060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126060>
- [40] <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/biotechnologie/documenten/rapporten/2017/11/07/publieksopvattingen-over-biotechnologie>
- [41] De Steur et al. (2010). Willingness-to-accept and purchase genetically modified rice with high folate content in Shanxi Province, China. *Appetite* 54, 118-125.
- [42] De Steur et al. (2015). Status and market potential of transgenic biofortified crops. *Nature biotechnology* 33 (1), 25-29.
- [43] Aerni et al. (2011). How would Swiss consumers decide if they had freedom of choice? Evidence from a field study with organic, conventional and GM corn bread. *Food Policy* 36, 830-838. doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.08.002.
- [44] Rashid et al. (2003). Socioeconomic parameters of eggplant pest control in Jessore District of Bangladesh. *Shanhua*, Taiwan: AVRDC—the World Vegetable Center. AVRDC Publication No. 03-556. 29 pp.
- [45] [http://bangladeshstudies.org/files/WPS\\_no9.pdf](http://bangladeshstudies.org/files/WPS_no9.pdf).
- [46] Brookes & Barfoot (2017). Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996–2015: Impacts on pesticide use and carbon emissions, *GM Crops & Food* Vol. 8 , Iss. 2.

- [47] Pray et al. (2002). Five years of Bt cotton in China - the benefits continue. *Plant Journal* 31, 423-430. DOI: 10.1046/j.1365-313X.2002.01401.x
- [48] <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
- [49] Alvarez & Steinbach (2009). A review of the effect of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil & Tillage Research* 104, 1-15.
- [50] Brookes & Barfoot (2013) Key environmental impacts of global genetically modified (GM) crop use 1996-2011. *GM Crops and Food* 4, 1-11.
- [51] Dill (2005). Glyphosate-resistant crops: history, status and future. *Pest Management Science* 61, 219-224.
- [52] Newhouse et al. (1992). Tolerance to imidazolinone herbicides in wheat. *Plant Physiology* 100, 882-886.
- [53] Gonsalves (2015). The wayward Hawaiian boy returns home. *Annual Review of Phytopathology* 53: 1-17. PMID 25898280 DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120314
- [54] Souza et al. (2005). Influence of coat protein transgene copy number on resistance in transgenic line 63-1 against Papaya ringspot virus isolates. *Hortscience* 40, 2083-2087.
- [55] Haverkort et al. (2009). Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Res.* 52, 249-264.
- [56] Rommens et al. (2006). Improving Potato Storage and Processing Characteristics through All-Native DNA Transformation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2006 54 (26), 9882-9887 DOI: 10.1021/jf062477l
- [57] [www.eoswetenschap.eu/voeding/eerste-genetisch-gemodificeerde-appelte-koop-zou-jij-er-bijten?](http://www.eoswetenschap.eu/voeding/eerste-genetisch-gemodificeerde-appelte-koop-zou-jij-er-bijten?)
- [58] Wang et al. (2014). Simultaneous editing of three homoeoalleles in bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nat Biotechnol.* 32, 947-51.
- [59] Castiglioni et al. (2008). Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. *Plant Physiology* 147, 446-455.
- [60] Butelli et al. (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nature Biotech.* 26, 1301-1308.
- [61] Zhang et al. (2013). Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying over-ripening and reducing susceptibility to gray mold. *Curr. Biol.* 23, 1094-1100.

- [62] [https://www.worldfoodprize.org/en/laureates/2016\\_\\_andrade\\_mwanga\\_low\\_and\\_bouis](https://www.worldfoodprize.org/en/laureates/2016__andrade_mwanga_low_and_bouis)
- [63] Ye et al. (2000). Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science* 287, 303–305.
- [64] Blancquaert et al. (2015). Enhancing folate (vitamin B9) stability in biofortified rice through metabolic engineering. *Nature Biotechnology* 33, 1076–1078.
- [65] Gao et al. (2005). Genomic cloning and linkage mapping of the Mald1 (PR-10) gene family in apple (*Malus domestica*). *Theor. Appl. Genet.* 111, 171–183.
- [66] Gilissen et al. (2005). Silencing the major apple allergen Mal d 1 by using the RNA interference approach. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 115, 364–369.
- [67] Yang et al. (2015). Genome-wide inactivation of porcine endogenous retroviruses (PERVs). *Science* 350, 1101–1104.
- [68] <http://european-seed.com/spains-gm-maize-production>
- [69] [www.inase.gov.ar](http://www.inase.gov.ar)
- [70] Gilbert (2013) A hard look at GM crops, *Nature* 497, 24-26.
- [71] Gruere & Sengupta (2011) Bt cotton and farmer suicides: an evidence-based assessment. *J Dev Stud.* 47, 316-37. [dx.doi.org/10.1080/00220388.2010.492863](https://doi.org/10.1080/00220388.2010.492863)

## Met medewerking van

Godelieve GHEYSEN (KNW)  
René CUSTERS (VIB)  
Dominique VAN DER STRAETEN (KNW)  
Dirk INZÉ (KNW)

Yvan BRUYNSERAEDE (KNW)  
Norbert DE KIMPE (KNW)  
Johan DE TAVERNIER (KU Leuven)  
Louise FRESCO (Buitenlands lid KNW)  
Monica HÖFTE (KTW)  
Niceas SCHAMP (KNW)  
Els VAN DAMME (KNW)  
Erick VANDAMME (KTW)  
Peter VANDENABEELE (KNW)  
Paul VAN HOUTTE (KNW)

KNW = Klasse Natuurwetenschappen

KTW = Klasse Technische wetenschappen

## RECENTE STANDPUNTEN (vanaf 2015)

30. Piet Van Avermaet, Stef Slembrouck, Anne-Marie Simon-Vandenbergen – *Talige diversiteit in het Vlaams onderwijs: problematiek en oplossingen*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
31. Jo Tollebeek – *Metamorfozes van het Europese historisch besef, 1800-2000*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
32. Charles Hirsch, Erik Tambuyzer e.a. – *Innovative Entrepreneurship via Spin-offs of Knowledge Centers*, KVAB/Klassen Natuurwetenschappen en Technische wetenschappen, 2015.
33. Georges Van der Perre en Jan Van Campenhout (eds.) – *Higher education in the digital era. A thinking exercise in Flanders*, Denkersprogramma KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2015.
34. Georges Van der Perre, Jan Van Campenhout e.a. – *Hoger onderwijs voor de digitale eeuw*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2015.
35. Hugo Hens e.a. – *Energiezuinig (ver)bouwen: geen rechttoe rechtaan verhaal*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2015.
36. Marnix Van Damme – *Financiële vorming*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
37. Els Witte – *Het debat rond de federale culturele en wetenschappelijke instellingen (2010-2015)*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
38. Irina Veretennicoff, Joos Vandewalle e.a. – *De STEM-leerkracht*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen en Klasse Technische wetenschappen, 2015.
39. Johan Martens e.a. – *De chemische weg naar een CO<sub>2</sub>-neutrale wereld*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2015.
40. Herman De Dijn, Irina Veretennicoff, Dominique Willems e.a. – *Het professoraat anno 2016*, KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, Klasse Menswetenschappen, Klasse Kunsten en Klasse Technische wetenschappen, 2016.
41. Anne-Mie Van Kerckhoven, Francis Strauven – *Een bloementapijt voor Antwerpen*, KVAB/Klasse Kunsten, 2016.
42. Erik Mathijs, Willy Verstraete (e.a.), *Vlaanderen wijs met water: waterbeleid in transitie*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2016.
43. Erik Schokkaert - *De gezondheidszorg in evolutie: uitdagingen en keuzes*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2016.
44. Ronnie Belmans, Pieter Vingerhoets, Ivo Van Vaerenbergh e.a. – *De eindgebruiker centraal in de energietransitie*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2016.
45. Willem Elias, Tom De Mette – *Doctoraat in de kunsten*, KVAB/Klasse Kunsten, 2016.
46. Hendrik Van Brussel, Joris De Schutter e.a., *Naar een inclusieve robotsamenleving*, KVAB/Klasse Technische Wetenschappen, 2016.
47. Bart Verschaffel, Marc Ruyters e.a., *Elementen van een duurzaam kunstenbeleid*, KVAB/Klasse Kunsten, 2016.
48. Pascal Verdonck, Marc Van Hulle (e.a.) - *Datawetenschappen en gezondheidszorg*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2017.
49. Yolande Berbers, Mireille Hildebrandt, Joos Vandewalle (e.a.) - *Privacy in tijden van internet, sociale netwerken en big data*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2017.
50. Barbara Baert (e.a.), *Iconologie of 'La science sans nom'*, KVAB/Klasse Kunsten, 2017.
51. Tariq Modood, Frank Bovenkerk – *Multiculturalism. How can Society deal with it?* KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2017.
52. Mark Eyskens – *Europa in de problemen*. KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2017.
53. Luc Steels – *Artificiële intelligentie. Naar een vierde industriële revolutie?*. KVAB/Klasse Natuurwetenschappen, 2017.

De volledige lijst met standpunten en alle pdf's kunnen worden geraadpleegd op [www.kvab.be/standpunten](http://www.kvab.be/standpunten)