KU LEUVEN
METAFORUM

Metaforum visietekst 12

Ggo's in onze voedselproductie:
Bijdrage tot een genuanceerd debat

Visietekst werkgroep Metaforum,
voorgesteld op het symposium van 3 december 2013

Samenstelling werkgroep:

Coördinator: Filip Rolland, Biologie: Moleculaire Fysiologie van Planten en Micro-organismen

Eddy Decuypere, Bio-ingenieurswetenschappen: Dierfysiologie
Luc De Meester, Biologie: Ecologie, Evolutie en Biodiversiteitsbehoud
Johan De Tavernier, Theologische Ethiek
Wannes Keulemans, Bio-ingenieurswetenschappen: Plantenbiotechniek
Theo Niewold, Bio-ingenieurswetenschappen: Voeding en Gezondheid
Rony Swennen, Bio-ingenieurswetenschappen: Plantenbiotechniek
Jo Swinnen, Ontwikkelingseconomie
Geertrui Van Overwalle, Intellectuele Rechten
Kevin Verstrepen, Bio-ingenieurswetenschappen: Microbiële en Plantengenetica en Vlaams Instituut voor Biotechnologie

Lies Vandesteene en Sofie Deroover, Biologie: Moleculaire Fysiologie van Planten en Micro-organismen

Metaforum KU Leuven
www.kuleuven.be/metaforum



METAFORUM-VISIETEKSTEN

De interdisciplinaire denktank Metaforum wil de deelname van de KU Leuven aan het maatschappelijk debat versterken. Daartoe ondersteunt Metaforum denkgroepen die wetenschappelijke expertise samenbrengen en onderzoekers vanuit verschillende disciplines in gesprek brengen rond relevante maatschappelijke problemen.

1. Het toenemend gebruik van psychofarmaca (2010)
2. Biodiversiteit: basisproduct of luxegoed? (2010)
3. Socio-economische verschillen in overgewicht (2010)
4. Personenmobiliteit in Vlaanderen (2011)
5. Behoud en beheer van bossen voor duurzame ontwikkeling: waar wetenschap en beleid elkaar ontmoeten (2011)
6. Totale genoomanalyse bij de mens (2011)
7. Hervormingen in het secundair onderwijs (2012)
8. Naar een nieuwe gemeenschappelijkheid voor Brussel (2012)
9. Studium generale: voorstel voor een interdisciplinair bachelorvak (2013)
10. Publieke middelen voor de kunstensector: waarom investeren in kunstproductie de moeite loont (2013)
11. Euthanasie en menselijke kwetsbaarheid (2013)
12. Ggo's in onze voedselproductie: bijdrage tot een genuanceerd debat (2013)

METAFORUM-BIJDRAGEN TOT HET INTERN DEBAT

Wanneer de universiteit wil bijdragen tot het maatschappelijk debat, moet ze ook zelf haar eigen verantwoordelijkheid opnemen. Daarom ondersteunt Metaforum ook werkgroepen die reflecteren over de eigen identiteit en de eigen actiemogelijkheden van de KU Leuven.

1. Universiteit, kerk en samenleving (2010)

Metaforum KU Leuven, interdisciplinaire denktank voor maatschappelijk debat
Hollands College, Damiaanplein 9 bus 5009, 3000 Leuven
metaforum@kuleuven.be, www.kuleuven.be/metaforum

INHOUDSOPGAVE

Metaforum 2
Executive summary 5
1. Inleiding 11
2. Voor of tegen: stof voor debat 12
3. Genetische modificatie: de technologie en haar toepassingen 14
   A. De vroege biotechnologie: selectie en kruising 14
   B. Gentechnologie 15
      I. ATGC: DNA, de moleculaire basis van vorm en functie (kenmerken) 15
      II. Klonen: genetisch identieke kopiëen 18
      III. Gentechnologie: recombinant DNA (rDNA) 19
      IV. Ggo's: Genetisch Gemodificeerde Organismen 24
      V. Klassieke veredeling versus gentechnologie 25
   C. Ggo-gewassen in de praktijk 27
      I. Een blik op het huidige ggo-areaal in de wereld 27
      II. Geteelde ggo's 29
      III. Ggo-gewassen in Europa en in Vlaanderen 32
      IV. Ggo-import 33
      V. Wat brengt de (directe) toekomst? 33
4. Teelt en vermarkting - wetgeving en besluitvorming 34
   A. De wetgeving in Europa 34
   B. De wetgeving in België en Vlaanderen 39
   C. Regulering van de nieuwe technologieën 40
5. Intellectuele eigendom en octrooirecht 40
6. Gezondheid: voedsel- en voederveiligheid 42
7. Milieu-impact van ggo's 45
   A. Milieu en onrechtstreekse gezondheidsrisico's 45
   B. Rechtstreekse milieu-effecten 46
      I. Effecten op niet-doelsoorten 46
      II. Invasiviteit 46
      III. Genmigratie 48
      IV. Het ontwikkelen van resistentie 51
   C. Onrechtstreekse milieu-effecten 52
   D. Complexiteit van risico-analyse bij ggo-teelten 54
8. Socio-economische impact van ggo's 55
   A. Impact op landbouwopbrengst en rendabiliteit 55
      I. Impact van bescherming intellectuele eigendom 56
      II. Impact van de technologie 57
   B. Armoede en ongelijkheid 57
   C. Impact op gezondheid, een socio-economisch perspectief 58
   D. Impact op de landbouwsector en voedselketen 59
9. Ethische aspecten 60
10. Perceptie en communicatie. Waarom verloopt dit debat zo moeizaam? 62

11. Ggo's in een complexe realiteit: een synthese 64
A. Belofte en realiteit 65
B. Evaluatie: omgaan met risico's 66
C. Ggo's en het landbouwsysteem 69
D. Keuzevrijheid van consument en producent 71
E. Rol voor de overheid – het wetgevend kader 73
F. Debat en communicatie 74
G. Conclusie en aanbevelingen 75
12. Referenties 78
Bijlage 85

DANKWOORD

De werkgroep bedankt Willem Broekaert, Chris Claes, Kurt Deketelaere, Marc De Loose, Gerard Govers, Wim Grunewald, Olivier Honnay, Joachim Mergeay, Joris Relaes, Eric Tollens, Ellen Velkeneers, Jan Van Bavel en de Metaforum-stuurgroep voor het nalezen van de tekst, kritische feedback, informatie en/of nuttige suggesties. De analyse, conclusies en aanbevelingen worden niet noodzakelijk gedeeld door deze mensen.

EXECUTIVE SUMMARY

De context

We staan voor de gigantische uitdaging om in de komende decennia een groeiende wereldbevolking met een toenemende levensstandaard te voorzien van voedsel, energie en grondstoffen op een duurzame manier. Naast nieuwe economische strategieën en duidelijke politieke keuzes zal dit ook wetenschappelijke en technische innovatie en creativiteit vergen. In combinatie met het wijzigen van onze voedingspatronen, een meer rechtvaardige verdeling en het reduceren van overschotten en afvalstromen, kunnen een efficiëntere landbouw en een verhoogde gewasefficiëntie op het bestaande areaal de voedselvoorziening in principe garanderen. Het potentieel van genetisch gemodificeerde organismen (ggo's) om hieraan bij te dragen is in principe groot, maar hoewel genetisch gemodificeerde gewassen reeds op grote schaal hun ingang hebben gevonden in de landbouw, zijn ze ook zeer omstreden. Er heerst een sterk gepolariseerd publiek debat en een op zijn minst onduidelijke en verdeelde politiek.

In de loopgraven van deze discussie worden zeer uiteenlopende argumenten gebruikt, waarbij zowel gezondheid en milieu als socio-economische en ethische overwegingen een rol spelen. Vaak worden dezelfde punten aangehaald in tegengestelde argumentaties. Het doel van deze werkgroep en visietekst is dan ook in de eerste plaats om te informeren, misverstanden uit te klaren en de verschillende argumenten helder te stellen, om zo bij te dragen tot een open, respectvol en constructief debat op basis van feitelijke argumenten. Na beschouwing van de belangrijkste technische en wettelijke aspecten, de mogelijke risico's voor gezondheid en milieu, de socio-economische impact, en de ethische vragen die genetisch gemodificeerde gewassen oproepen, komt de werkgroep tot de volgende synthese, conclusies en aanbevelingen:

Belofte en realiteit

In het verleden heeft het invoeren van nieuwe technologieën een belangrijke rol gespeeld in het verhogen van de voedselproductie, zoals bij de Groene Revolutie in de jaren zestig en zeventig. De ontwikkeling van de gentechnologie en de eerste ggo-gewassen kwamen met de grote belofte van een tweede, meer duurzame revolutie. Gedreven door economische wetmatigheden is de groene biotechnologie met de **eerste generatie ggo's** echter al vroeg en zeer snel de richting ingeslagen van de grootschalige agro-industrie met een beperkt aantal landbouwkundige toepassingen, zoals insectenresistentie en herbicidentolerantie, in een beperkt aantal op zeer grote schaal geteelde gewassen, die voornamelijk voor verwerking worden gebruikt. Cijfers geven in het algemeen een positieve impact aan van ggo-technologie op landbouwinkomens en rendabiliteit door een combinatie van hogere landbouwopbrengsten en lagere inputkosten. Daarnaast worden specifieke toepassingen zoals insectentolerantie ook wel succesvol gebruikt in kleinschalige landbouw. Modellen tonen aan dat er aanzienlijke welvaartswinsten verbonden zijn aan ggo-productie maar dat de impact op de verschillende spelers in de voedselketen afhangt van het institutionele kader. Hoewel deze teelten dus een aantal belangrijke voordelen bieden (in de eerste plaats voor de producent), genereren ze ook een aantal problemen en risico's. Op voorwaarde dat omzichtiger wordt tewerk gegaan, schatten we het **potentieel van de nieuwe generatie ggo-gewassen** veel hoger in, omdat ze bijvoorbeeld 1) tegemoetkomen aan erg relevante uitdagingen zoals stresstolerantie, efficiënt water- en nutriëntgebruik (voedselzekerheid), maar ook verhoogde

voedingswaarde (biofortificatie) of voedselkwaliteit; 2) eerder consumentgericht zijn; 3) verschillende eigenschappen combineren; 4) een slimmere aanpak volgen met kleinere risico's, waarbij bijvoorbeeld de natuurlijke verdedigingsmechanismen van de plant worden versterkt in plaats van vreemde genen uit andere organismen over te brengen en waarbij bijkomende systemen voorzien worden om het verspreiden van de gewassen en de ingebrachte genen tegen te gaan; 5) ook minder commerciële teelten met grote lokale impact omvatten en/of 6) de nieuwste, meer gerichte genoom-'editing'-technologieën zullen gebruiken, waarvan de resultaten dichter aanleunen bij die van natuurlijk voorkomende processen en variatie.

Dergelijke toepassingen en technologieën kunnen bovendien bijdragen tot een meer positieve perceptie of acceptatie van de consument en (in het geval van de nieuwe technologieën) mogelijk tot een meer eenvoudige regelgeving. We vinden het belangrijk hier te wijzen op de mooie opportuniteiten die in principe geboden worden door de ggo-technologie, maar ook op de risico's die een onvoldoende gestuurde implementatie met zich kunnen meebrengen.

Evaluatie: omgaan met risico's

In de evaluatie van (nieuwe) toepassingen is het omgaan met onbekende factoren en risico's ongetwijfeld de grootste uitdaging en een belangrijke bron van de controverse rond ggo's. Een bewijs van de afwezigheid van risico's is per definitie niet mogelijk en **risico's dienen** dus **afgewogen te worden** tegenover de voor- en nadelen van alternatieven. Anderzijds is het belangrijk dat de risico's zo laag mogelijk gehouden worden en al te grote risico's geheel worden vermeden.

De procedures die gevolgd worden om de voedselveiligheid van ggo's te garanderen zijn vaak uitgebreider dan die voor conventioneel voedsel en lijken dan ook voldoende om de consument te beschermen. Voor de evaluatie van milieurisico's en de impact op biodiversiteit moet een onderscheid worden gemaakt tussen risico's die specifiek aan de techniek zelf zijn gebonden (zowel de modificatie op zich als specifieke eigenschappen die niet langs andere weg door het gewas kunnen worden verkregen) en deze die vaak maar niet noodzakelijk met de techniek geassocieerd zijn, zoals milieurisico's verbonden aan de grootschaligheid en industrialisatie van de landbouw. Deze laatste zijn zeer belangrijk, maar kunnen mits bijsturing in principe losgekoppeld worden van de technologie. Bij het **inschatten van de milieurisico's** door genoverdracht, hybridisatie en eventueel introgressie (een meer blijvende incorporatie van genen over meerdere generaties) duikt een belangrijk probleem op. Immers, hoewel de kans op gentransfer doorgaans zeer gering is en sterk afhankelijk van het specifieke gewas en transgen, leidt een kleine kans gecombineerd met een zeer groot areaal wel tot een reëel risico. Belangrijk daarbij is dat, eenmaal er door gentransfer een nieuwe variant is ontstaan die een zeer groot *fitness*-voordeel heeft, deze een eigen dynamiek kan ontwikkelen, wat kan resulteren in een echte pestsoort. Terwijl de kansen op problemen hier eerder gering zijn, zijn de potentiële gevolgen groot, zoals geïllustreerd door de problematiek van invasieve soorten. Dit potentiële probleem wordt belangrijker naarmate de ggo-gewassen grotere *fitness*-voordelen hebben, bijvoorbeeld via verhoogde droogte- of ziekteresistentie, zodat het inschakelen van techniek om de kans op gentransfer verder te verkleinen uiterst belangrijk is. Bufferzones zullen wellicht altijd belangrijk blijven, maar het is ook essentieel om **de nodige technologische beveiligingen** in te bouwen voor het geval protocollen niet correct geïmplementeerd worden.

Het is belangrijk om een onderscheid te maken tussen de technologie, de specifieke toepassingen of producten (de nieuwe eigenschappen van het gewas) en het landbouwsysteem waarbinnen deze

worden gebruikt (waarbij specifieke ggo-toepassingen een aantal risico's zouden kunnen aanscherpen). Een ***case-by-case* benadering** is daarom essentieel. De huidige manier van evalueren is gebaseerd op het voorzorgsprincipe, met de focus op de veiligheid voor gezondheid en milieu. Aangezien geen enkele technologie zonder risico's is, lijkt het ons echter belangrijk steeds een **systematische, rationele kosten-én-batenanalyse** te maken, waarbij ook de vergelijking moet worden gemaakt met zowel de huidige conventionele teelten als met andere alternatieven. Zo is enig risico op gentransfer (geminimaliseerd door slimme technologie) misschien wel verantwoord op voorwaarde dat de voordelen voldoende groot zijn, bijvoorbeeld met betrekking tot het verhogen van de voedselzekerheid of de nutritionele kwaliteit van het voedsel. We pleiten er daarbij ook voor om naast veiligheid (voor milieu en gezondheid) ook **ecologische en sociaaleconomische duurzaamheid** te gebruiken als expliciet criterium bij de evaluatie van nieuwe toepassingen. Daarbij zou men de technologie (het proces) zelf buiten beschouwing moeten kunnen laten en zich moeten toespitsen op de risico's en baten van het ingebrachte kenmerk en de resulterende teelt (het product). Omwille van de grote uitdagingen waar we voor staan, lijkt het ons niet alleen onverstandig om specifieke technologieën *a priori* uit te sluiten, maar ook belangrijk om de lat voor duurzame efficiëntie zo hoog mogelijk te leggen en van alternatieve technologieën zoals ggo's meer te verwachten dan wat de huidige toepassingen bieden. We pleiten dan ook voor de voortzetting van gericht wetenschappelijk onderzoek rond alle aspecten van ggo's, met veel aandacht voor het ontwikkelen van veilige technologie, voor de socio-economische impact en de langetermijngevolgen voor ecosystemen en biodiversiteit.

Ggo's en het landbouwsysteem

Het huidige industriële landbouwsysteem botst aan tegen de grenzen van de duurzaamheid, en doorgaans worden twee belangrijke alternatieven naar voor geschoven. Een meer ecologisch geïntegreerde landbouw met optimaal gebruik van het bestaande genetische potentieel van gewassen biedt een belangrijke meerwaarde voor de biodiversiteit en milieukwaliteit, maar het is onduidelijk in welke mate die in staat is voldoende voedsel (en biomassa) te genereren voor meer dan negen miljard mensen, en hoeveel ruimte hiervoor nodig is. Anderzijds kan inzetten op technologie en intensivering op onderpresterende arealen de productiviteit maximaliseren, waarbij het genetisch potentieel van gewassen niet enkel optimaal wordt gebruikt maar ook (o.a. via gentechnologie) kan worden verhoogd. Daar waar beide alternatieven veelal als twee onverzoenbare strategieën worden gezien, lijkt het ons nuttig en mogelijk ook noodzakelijk om de **compatibiliteit en complementariteit** van deze twee opties te evalueren. Het is naar onze mening belangrijk om echt duurzame voedselzekerheid als centrale doelstelling te hanteren, waarbij de gebruikte technologie van secundair belang is. In die optiek hoeft een op bio-landbouw geïnspireerde productiemethode niet per definitie in conflict te zijn met het gebruik van ggo-gewassen, als de milieurisico's via technologie tot het uiterste kunnen worden beperkt en een belangrijke meerwaarde kan worden gerealiseerd door een milieuvriendelijkere bestrijding van pestsoorten of ziektes of door een verhoogde voedselkwaliteit. Kleinschalige, meer lokale, geïntegreerde en diverse voedselproductie is in principe ook perfect combineerbaar met (specifieke) ggo-toepassingen. Hiervoor is wel een belangrijke verandering in mentaliteit en beleid nodig.

De mondiale voedselproblematiek wordt in meer detail bekeken door de Metaforum-werkgroep 'Voedselproductie en voedselzekerheid' (www.kuleuven.be/metaforum).

Keuzevrijheid van consument en producent

Vrije keuze van de consument op basis van juiste, objectieve informatie binnen een duidelijk wettelijk kader is cruciaal, ook om los van de persoonlijke afweging van kosten en baten rekening te kunnen houden met eventuele ethische bezwaren. Dit vereist een **correcte labeling** van ggo-voedingsproducten, en die zou dan ook op **de hele productieketen** (zoals bijvoorbeeld het gebruik van ggo-veevoer) moeten slaan. Het verplicht labelen van de productiemethode is momenteel beperkt tot het aangeven van het gebruik van genetische modificatie en niet van toepassing voor de conventionele landbouw, die vaak gebruikmaakt van schadelijke en niet-duurzame technologieën, of de biologische landbouw, waar biolabels een positieve keuze stimuleren. Er zou dan ook kunnen worden gepleit voor een verplichte labeling van alle landbouwproducten, met het aangeven van een score voor **duurzaamheid** naast een vermelding van de productiemethode (ggo, conventioneel, bio), omdat men dan in principe positieve keuzes kan maken voor elk van deze productiewijzen. Op die manier wordt de vaak negatieve connotatie van een ggo-label geneutraliseerd in het geval van echt duurzame ggo-toepassingen, terwijl mensen die om persoonlijke redenen verkiezen geen ggo-voedsel te kopen, die mogelijkheid behouden. Het loont onzes inziens de moeite om verder over de praktische uitwerking en haalbaarheid hiervan na te denken.

Daarnaast moet ook de landbouwer, binnen een gepast wettelijk kader en met respect voor de keuze van andere telers, de vrijheid hebben om te kiezen voor ggo-producten. De huidige ggo-gewassen hebben duidelijke voordelen voor de producent (bijvoorbeeld de verminderde kost van pesticiden) en **ggo-landbouwers** kiezen er dan ook in de meeste gevallen zelf voor om deze te telen. Uiteraard mag ook de keuzevrijheid van de **niet-ggo-landbouwer** niet belemmerd worden. Strikte bufferzones en gescheiden productie- en verwerkingsprocessen (voor het vermijden van contaminatie) en efficiënte traceerbaarheid (ook voor veevoeders en vlees) zijn essentieel. Mogelijke directe economische schade door beperkte contaminatie wordt opgevangen door de 0,9%-regel (verplichte labeling als ggo enkel boven de 0,9% ggo-materiaal). Dit is echter een zuiver economische maatregel en biedt weinig bescherming tegen de mogelijke ecologische impact via gentransfer (die in principe bij de evaluatie en autorisatie in rekening is genomen). Daarom zijn slimme toepassingen van technieken om gentransfer te vermijden en een correct inschatten van de omvang van bufferzones cruciaal om deze keuzevrijheid te garanderen.

Rol van de overheid – het wetgevend kader

Hoewel voeding een basisbehoefte is, vormt het op dit ogenblik in grote mate ook gewoon een handelsproduct in een geglobaliseerde economie en vrijemarktsysteem, en bijgevolg onderhevig aan dezelfde dynamieken van concurrentie, monopolisatie en speculatie. Er is **sturing** van ggo-ontwikkeling, -teelt en -handel door de overheid nodig, zoals dit ook bij andere producten gebeurt in het geval van bijvoorbeeld monopolisatie. In een mondiaal systeem met zeer heterogene wetgeving en ideologische principes is dit niet evident, maar een aantal voorbeelden (zoals de *antitrust*wetgeving) illustreren dat het wel kan. In de praktijk is de wetgeving rond ggo's complex en versnipperd, waardoor te veel ruimte gecreëerd wordt voor lobbying van zowel voor- als tegenstanders. Dit betekent niet dat het voorzorgsprincipe moet worden losgelaten, maar dat duidelijkere, bindende criteria nodig zijn voor kosten én baten, die dan ook **rechtszekerheid** garanderen. De complexe EU-politiek en moeizame besluitvorming hebben ongetwijfeld ook een

negatief effect op de concurrentiekracht, maar daarnaast zijn we van mening dat economische argumenten nooit opwegen tegen **veiligheidsoverwegingen**.

We zien een belangrijke rol weggelegd voor de overheid in de identificatie van nuttige en urgente toepassingen en de sturing van het publiek gefinancierd onderzoek, waarbij de **maatschappelijke legitimatie** niet wordt verengd naar economische meerwaarde, innovatie en het creëren van jobs, maar zich vooral situeert in het kader van een bijdrage aan **duurzame levenskwaliteit** in de ruimste zin. Een mogelijk interessant idee is dat bedrijven hun ggo-onderzoek en -ontwikkeling zouden kunnen financieren via een fonds waartoe ze ook verplicht bijdragen, en dat voorstellen ondersteunt van onderzoek op basis van de maatschappelijke meerwaarde van het eindproduct.

Hoewel intellectueel eigendomsrecht en patenten vaak onder vuur liggen, kan ook worden geargumenteerd dat ze belangrijk zijn voor innovatie. Er is ongetwijfeld wel nog ruimte om via een duidelijk gereglementeerd en open licentiesysteem een aantal van de bezwaren aan te pakken. De ggo-problematiek is bij uitstek een voorbeeld van een materie die een gestroomlijnde **mondiale aanpak** vergt. Daarom lijkt het ons evident om op termijn een meer globale aanpak na te streven, waarbij beslissingen omtrent ggo's verschoven worden naar een orgaan met een mondiale draagkracht. Uiteraard wordt dit geen eenvoudig proces, mede omdat de grote spelers in de wereld sterk verschillende ethische keuzes en kosten-batenafwegingen maken.

Debat en communicatie

De problematiek rond het nut en de impact van ggo's is complex. Dit vergt niet enkel correcte informatie zodat ieder voor zich een gefundeerde mening kan vormen, maar ook een zeer **genuanceerde boodschap**. We pleiten dan ook voor een zo groot mogelijke **objectivering van het debat**. Er zijn rationele argumenten aan te brengen voor én tegen specifieke ggo-toepassingen. Het is essentieel om respectvol begrip te tonen voor bepaalde bezorgdheden en open te staan voor andere perspectieven en waardenkaders. Ook voor de populaire media vergt het enige moed om een genuanceerd beeld te geven, met het risico op een moeilijke en daardoor minder aantrekkelijke boodschap.

Samengevat concluderen we dat:

- de gentechnologie en ggo's van groot belang zijn voor het (fundamenteel) biologisch onderzoek, waarbij nieuwe inzichten ook bijdragen aan niet-ggo toepassingen, inclusief de veredeling van gewassen;
- de eerste generatie ggo's de grote belofte niet echt hebben waargemaakt, maar dat het potentieel en de relevantie van de nieuwe generatie ggo-gewassen en nieuwe, meer verfijnde (*genome editing*) technologieën in principe groter is;
- de voedselveiligheid gegarandeerd wordt door de bestaande controlemechanismen, maar dat potentiële milieurisico's bijzondere aandacht verdienen;
- risico's afgewogen moeten worden in een grondige kosten-batenanalyse (ook van alternatieven) en zoveel mogelijk beperkt moeten worden door de meest sluitende technologische beveiligingen;
- bij de evaluatie van nieuwe ggo-toepassingen een *case-by-case* benadering met rationele kosten-én-batenanalyse essentieel is, waarbij naast veiligheid (voor milieu en gezondheid) ook ecologische en socio-economische duurzaamheid expliciete criteria moeten zijn,

- echt duurzame voedselzekerheid de centrale doelstelling moet zijn, waarbij de gebruikte technologie in principe van secundair belang is;
- het belangrijk is om het onderscheid en de juiste relatie te erkennen tussen de technologie, de specifieke toepassingen en het landbouwsysteem waarbinnen die gebruikt worden;
- een duidelijk gereglementeerd en open licentiesysteem tegemoet kan komen aan de mogelijke bezwaren tegen octrooien;
- verzekering van de keuzevrijheid van consument en producent cruciaal is en er moet worden nagedacht over een correcte algemene labeling van productiemethode én duurzaamheid;
- een duidelijke sturing van ggo-ontwikkeling, -teelt en -handel door de overheid nodig is om zowel duurzame voedselzekerheid en -veiligheid als rechtszekerheid van de producent te garanderen;
- het debat nood heeft aan een zo groot mogelijke objectivering en ruimte voor een genuanceerde boodschap, waarbij ook een belangrijke rol voor de overheid is weggelegd.

Voor meer achtergrond en voor de nuances van onze analyse verwijzen we naar de integrale tekst.

1. INLEIDING

De uitdagingen zijn onmiskenbaar groot: door de piekende wereldbevolking en steeds toenemende levensstandaard en consumptie staan de natuurlijke hulpbronnen en de voedselproductie op onze planeet onder druk. Terwijl meer dan 800 miljoen mensen chronisch honger lijden, botsen onze dominante economische en landbouwsystemen op de limieten van de duurzaamheid. Klimaatsverandering ten gevolge van de industrialisatie en het voortdurend stijgend gebruik van grondstoffen versterken bovendien de impact van onze levensstijl op het milieu. Tegemoetkomen aan de dubbele uitdaging van een verhoogde maar tegelijk duurzame productie van voedsel, energie en grondstoffen zal een combinatie vergen van zowel nieuwe technische en economische strategieën als duidelijke politieke beslissingen. Tegelijkertijd beleven we een biotechnologische revolutie, die onze maatschappij eveneens ingrijpend verandert. Eén van de meest sprekende producten hiervan zijn de genetisch gemodificeerde organismen (ggo's), die niet enkel essentieel zijn geworden in het fundamenteel biologisch en medisch onderzoek, maar nu ook hun plaats vinden in allerhande industriële processen en de productie van voedingsstoffen en -gewassen. Het wereldwijde areaal aan genetisch gemodificeerde gewassen bedroeg in 2012 al 170 miljoen ha[1] en de gestage groei maakt het de snelst geadopteerde techniek in de geschiedenis van de moderne landbouw. Deze cijfers spreken tot de verbeelding. Ze geven aan dat ggo's onmiskenbare voordelen hebben, maar ze voeden ook de discussies rond mogelijke risico's verbonden aan ggo's. Een objectieve evaluatie van de mogelijke bijdrage en impact van genetische modificatie en ggo's op een duurzame voedselproductie en samenleving wordt echter bemoeilijkt door het zeer sterk gepolariseerde, principiële en emotionele karakter van de discussie en de (te) beperkte betrokkenheid en achtergrondkennis van het brede publiek door de complexiteit van de problematiek.

Omwille van het moeilijk te overschatten belang van de problematiek en de nood aan een breed maatschappelijk draagvlak voor (politieke) beslissingen rond ggo's wil de Metaforum-werkgroep 'Ggo's in onze voedselproductie' met deze visietekst bijdragen aan een open en genuanceerd debat. Cruciaal bij een dergelijke discussie is dat alle betrokkenen beschikken over dezelfde nodige achtergrondkennis. Daarom zal na een overzicht van de in het debat meest gebruikte argumenten voor en tegen (hoofdstuk 2), een toelichting gegeven worden van de technologie zelf en haar verschillende toepassingen wereldwijd, in Europa en in Vlaanderen (hoofdstuk 3). Nieuwe genetisch gemodificeerde gewassen komen echter niet zomaar in onze voedselketen terecht. Meer duiding wordt gegeven bij de complexe wetgeving en besluitvorming in Europa, dat ten opzichte van de rest van de wereld een relatief restrictief beleid voert en waar het areaal aan ggo's nog steeds zeer beperkt is (hoofdstuk 4). De belangrijkste en meest relevante aspecten van intellectueel eigendoms- en octrooirecht voor de ggo-problematiek worden apart aangehaald (hoofdstuk 5). Daarna wordt ingegaan op de mogelijke gevolgen voor gezondheid (hoofdstuk 6) en milieu (hoofdstuk 7), en de bredere sociaaleconomische context (hoofdstuk 8), drie aspecten die aanleiding geven tot fundamentele bezwaren tegen een grootschalige implementatie van de nieuwe technologie. Genetische modificatie van voedsel en levende organismen roept ook belangrijke ethische en filosofische vragen op, die vaak onbewust een belangrijke rol spelen in de meningsvorming (hoofdstuk 9). Daarnaast gaan we ook in op de rol van de media, van communicatie en perceptie, en de vraag waarom dit zo'n beladen debat is (hoofdstuk 10). Ten slotte maken we een synthese van deze verschillende aspecten, evalueren we de mogelijke bijdrage van ggo's in het antwoord op de

[1] James 2012; http://www.isaaa.org/.

belangrijke uitdagingen van een planeet onder druk en staan we stil bij de complexe realiteit waarin praktische overwegingen en dynamieken aangeven dat het hier niet om een louter ideologische discussie gaat. Aangezien we ons niet willen beperken tot het geven van vrijblijvende informatie aan de zijlijn, formuleren we een aantal conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 11).

2. VOOR OF TEGEN: STOF VOOR DEBAT

De gentechnologie biedt grote mogelijkheden in de ontwikkeling van verbeterde gewassen (naast toepassingen in micro-organismen en dieren, die we hier omwille van de focus op ggo-gewassen buiten beschouwing laten) en wordt wereldwijd snel geïmplementeerd in de voedsel- en voederproductie. Toch is er ook een grote achterdocht en bezorgdheid, met zeer uiteenlopende achterliggende motivaties, die ook wegen op het Europese en nationale beleid. Tegelijk moeten intrinsieke wetenschappelijke onzekerheid, economische logica, en de schijnbare (en waarschijnlijke) onomkeerbaarheid van deze globale evolutie ons er ook niet van weerhouden om de noodzaak of wenselijkheid, voordelen en mogelijke risico's van genetische modificatie en ggo's te evalueren en in vraag te stellen. Het doel van deze werkgroep en visietekst is in de eerste plaats om te informeren, misverstanden uit de wereld te helpen, en de (broodnodige) discussie terug te brengen naar de essentie van een open, respectvol en constructief debat op basis van feitelijke argumenten.

We hebben eerst de belangrijkste bedenkingen en argumenten, die in de loopgraven aan beide zijden van deze sterk gepolariseerde discussie worden gebruikt, opgelijst (zie het kaderstuk). Deze lijst is een opsomming van veelgebruikte argumenten zonder dat we hier een waardeoordeel over geven; in onze verdere analyse van de mogelijke implicaties van het gebruik van ggo's zullen deze standpunten genuanceerd bekeken worden.

Veelgebruikte argumenten en bedenkingen in het ggo-debat

*Veelgebruikte argumenten **tegen**:*

- Enkel commercieel interessante gewassen worden gemodificeerd, waardoor de kleine landbouwer met specifieke lokale teelten (ook en vooral in ontwikkelingslanden) hier weinig nut van heeft en enkel de grootschalige monocultuur wordt versterkt, met grotere winsten voor multinationale voedingsbedrijven en meer oneerlijke concurrentie voor kleine lokale markten tot gevolg. De techniek en dus de gewassen zijn te duur.

- Herbicidentolerante transgene gewassen worden enkel in koppelverkoop met specifieke herbiciden aangeboden door in oorsprong chemische multinationals, wat de keuzevrijheid van de landbouwer beperkt. Vaak betreft het ook hybriden, waarvan telkens nieuwe zaden moeten worden aangeschaft. Samengevat maken ggo's de boer afhankelijk en versterken ze de monopoliepositie van multinationals.

- Een verder stimuleren van grootschalige monoculturen door de implementatie van ggo-teelten maakt onze landbouw niet alleen kwetsbaar, maar vormt een ernstige bedreiging voor de biodiversiteit en natuurlijke ecologische evenwichten. De praktijk van ggo-teelt komt momenteel niet tegemoet aan de noodzaak van een meer duurzame voedselproductie.

- De sterke opgang van ggo-teelten en de ermee geassocieerde grootschaligheid brengen het risico met zich mee dat de genetische variatie in traditionele teelten verloren gaat. Het risico op uitkruising van ggo-teelten met wilde varianten van de traditionele teelten verhoogt dit risico. Dit tast dus ook de biodiversiteit van de landbouwgewassen zelf aan. Het gevaar van gentransfer (bijvoorbeeld door pollenbestuiving) naar verwante

gewassen is reëel en niet-controleerbaar, vooral gegeven de uitgestrekte arealen waarin ggo-gewassen worden geteeld.

- Aangezien vele ggo-gewassen toch herbicidentolerant zijn, kan er onbeperkt worden gesproeid, met een verhoogd risico op het ontwikkelen van resistentie bij onkruiden en meer schade voor het milieu op langere termijn.

- Insectresistente gewassen produceren continu (ook wanneer dit niet nodig is) toxines, die ook voor niet-doelwitinsecten potentieel schadelijk kunnen zijn.

- Ggo-gewassen produceren nieuwe, onbekende en potentieel allergene stoffen met ongekende effecten op onze gezondheid.

- De teelt van ggo-energiegewassen kan interfereren met de voedselproductie. Energiegewassen nemen ruimte in die anders voor voedselproductie kan worden gebruikt, en de capaciteit om via ggo-teelten meer op energie gerichte eigenschappen te optimaliseren verhoogt de druk op de voedselvoorziening.

- De consument weet helemaal niet wat hij op zijn bord krijgt.

- De huidige toepassingen bieden geen bijkomend voordeel voor de consument.

- *Biotech*bedrijven zijn enkel uit op steeds grotere winstmarges. Academische wetenschappers zijn financieel afhankelijk van deze multinationals en produceren daardoor vooral de door deze firma's 'gewenste' resultaten. Ggo-teelten stimuleren deze ontwikkeling doordat ze kosten-intensief zijn.[2]

- Het is respectloos en ethisch onverantwoord om te knutselen aan het leven (het tast de integriteit aan van levende organismen). Vreemde genen horen niet thuis in onze gewassen.

*Veelgebruikte bedenkingen en argumenten **voor**:*

- Ondanks het feit dat ggo-gewassen vandaag al meer dan 15 jaar grootschalig geteeld en verbruikt worden, zijn er nog geen ernstige problemen in verband met voedselveiligheid of milieu gemeld, die het opleggen van meer beperkingen aan de teelt van ggo-gewassen dan aan de teelt van conventionele gewassen nodig zouden maken.

- Ggo-gewassen betekenen een belangrijke besparing voor de landbouwer door het verminderde gebruik van sproeistoffen (zoals herbiciden en insecticiden). In de praktijk blijft het areaal ggo-gewassen sterk toenemen, wat wijst op duidelijke en blijvende voordelen en rendabiliteit voor de producent. Dit kan bovendien ook een positief effect hebben op het milieu.

- Ggo-gewassen zijn een belangrijk middel voor het verhogen van de voedselzekerheid, ook in ontwikkelingslanden, waar grote delen van de oogst (bij gebrek aan de juiste producten en teelttechnieken) verloren gaan door insectenplagen of onkruiden. Toekomstige ggo-gewassen (met meer tolerantie voor bijvoorbeeld droogte-stress of nutriëntlimitatie) hebben het potentieel om de voedselzekerheid te garanderen op armere bodems en in een sterk veranderend klimaat.

- Het potentieel van deze gentechnologie is gigantisch en kan in de toekomst (en bij toekomstige uitdagingen) voor belangrijke doorbraken zorgen.

- Genetische modificatie is een zeer gecontroleerd proces. Onze traditionele gewassen zijn ontstaan door een groot aantal kruisingen met natuurlijke varianten, met willekeurige recombinatie van duizenden kenmerken.

- Ggo-gewassen worden veel strenger getest en opgevolgd dan klassieke teelten, wat de voedselveiligheid garandeert. DNA is trouwens aanwezig in alle levende organismen (en bijgevolg in alle niet-geraffineerde voedingsproducten) en wordt in ons verteringssysteem gewoon afgebroken.

[2] In de marge van het ggo-debat (naar aanleiding van het beschadigen van de aardappel-veldproef in Wetteren) werd ook de onafhankelijkheid van het wetenschappelijk onderzoek in vraag werd gesteld. Ook binnen de KU Leuven werd deze discussie gevoerd, maar die gaat in se niet direct over de ggo-problematiek.

*Veelgehoorde **bedenkingen** (eerder dan argumenten pro) bij voorstanders zijn ook:*

- Heel wat van de risico's die worden toegedicht aan ggo's (zoals de grootschalige monocultuur en monopoliepostite van bedrijven) zijn absoluut niet specifiek voor ggo's, maar worden alleen bij ggo's speciaal benadrukt door tegenstanders van de technologie, terwijl ze ook bij 'klassieke' producten voorkomen.

- Nieuwe technologieën, die later algemeen aanvaard worden, gaan wel vaker gepaard met irrationele angst. De technologie op zich houdt ook geen waardeoordeel in, enkel de specifieke toepassing. De productie van levensnoodzakelijke medicijnen met ggo's lijkt weinig ethische vragen op te roepen.

- De technologie en vooral de introductie van de ggo's in het veld en op de markt zijn zeer complex en (daardoor) duur en vereisen dus de bescherming van de investeringen via intellectuele eigendom.

Het is zeer opvallend dat vaak dezelfde punten worden aangehaald in tegengestelde argumentaties. Om deze verschillende argumenten nu objectief te bekijken (te bevestigen, weerleggen of nuanceren) is er zowel nood aan meer concrete informatie over specifieke aspecten van de ggo-problematiek als aan een constructieve houding met respect voor de verschillende perspectieven en waardeoordelen. Het is in deze discussie niet altijd mogelijk (en ook geen doelstelling) om een absolute waarheid te achterhalen of een algemene consensus te bereiken, maar wel om een aantal argumenten en meningen grondiger te formuleren en tegenover elkaar te plaatsen.

3. GENETISCHE MODIFICATIE: DE TECHNOLOGIE EN HAAR TOEPASSINGEN[3]

A. DE VROEGE BIOTECHNOLOGIE: SELECTIE EN KRUISING

Gentechnologie heeft de laatste decennia de biologie grondig getransformeerd tot een zeer experimentele én toegepaste wetenschap met een grote impact op ons dagelijks leven. Toch gebruikt en modificeert de mens al veel langer dan vandaag de natuurlijke processen en organismen in zijn omgeving om in zijn verschillende behoeften te voorzien. Terwijl de nomadische prehistorische mens vooral leefde van de jacht en het verzamelen van eetbare planten, ontwikkelde zich in de nieuwe steentijd (ongeveer 10.000 jaar geleden) de eerste landbouw en veeteelt. Essentieel voor het succes daarvan (en van de menselijke soort) was de selectie van voedzame en ziekteresistente plant- en diersoorten met een voldoende grote opbrengst en de ontwikkeling van efficiënte gereedschappen en cultivatietechnieken. De 'veredeling' van dieren en gewassen werd later nog versneld door de kruising van verwante soorten met een gerichte selectie van de gewenste combinaties van eigenschappen. Uit genetische en archeologische studies blijkt zo bijvoorbeeld dat onze moderne maïsvariëteiten (*Zea mais*) hun oorsprong vinden in de domesticatie van de weinig voedzame wilde grassoort 'teosint' (*Zea mais ssp. parviglumis*) in het Mexicaanse hooggebergte, ongeveer 9.000 jaar geleden. Ook andere 'moderne' gewassen en vruchten zijn ontstaan door domesticatie van wilde soorten. De Azteekse 'xitomatl' met zijn kleine gele vruchten (in het Italiaans 'pomi d'ori', gouden appels) heeft na de Spaanse veroveringen nog een hele evolutie ondergaan tot de sappige grote rode tomaten die nu in onze winkelrekken liggen. Daarnaast gebruikt de mens ook al duizenden jaren allerhande geselecteerde micro-organismen zoals bacteriën en schimmels voor de productie van kaas, yoghurt, brood en alcoholische dranken, echter zonder kennis van hun exacte natuur of werking. Zo produceren gistcellen (eencellige schimmels) door fermentatie (vergisting)

[3] Gedeeltelijk gebaseerd op 'De biotechnologische (r)evolutie' in *De wetenschap van het leven. Over eenheid in biologische diversiteit*. Acco, 2009, pp. 197-213.

koolstofdioxide (CO_2) en alcohol uit suikers, waardoor deeg kan rijzen en alcoholische dranken zoals bier en wijn kunnen worden geproduceerd.

De term 'biotechnologie' kan in ruime zin gedefinieerd worden als de manipulatie van levende organismen voor het maken van nuttige producten, waarbij genetische modificatie en ggo's dan een recente stap zijn in een lange traditie en evolutie. Voor anderen valt de term biotechnologie echter nauw samen met de recent ontwikkelde gentechnologie, waarbij dan wordt benadrukt dat het hierbij gaat om een volledig nieuwe technologie, met een hele waaier aan nieuwe mogelijkheden en bijhorende risico's.

B. GENTECHNOLOGIE

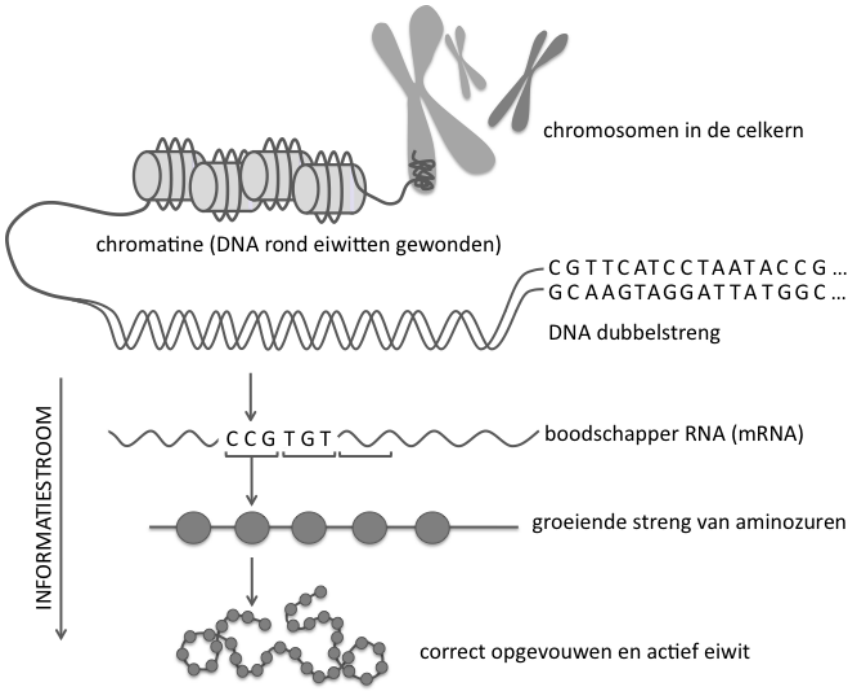
I. ATGC: DNA, DE MOLECULAIRE BASIS VAN VORM EN FUNCTIE (KENMERKEN)

In de periode tussen 1940 en 1970 werd gaandeweg duidelijk dat DNA de drager is van de erfelijke informatie, en dat alle levende organismen (van microben tot planten en dieren, inclusief de mens) eenzelfde eenvoudige DNA-code van 4 'letters' (A, T, G en C) gebruiken om deze informatie op te slaan (zie het kaderstuk). Alle cellen in een organisme bezitten in principe ook dezelfde genetische informatie, maar verschillende celtypes gebruiken verschillende delen van deze informatie om hun specifieke functie uit te oefenen. Sindsdien hebben wetenschappers in een recordtempo technieken ontwikkeld om de DNA-sequentie (de exacte volgorde van de letters) van levende organismen te achterhalen. Dat laat ook toe om specifieke stukjes DNA – genen – die verantwoordelijk zijn voor welbepaalde karakteristieken, afwijkingen of ziektes te identificeren en ook om deze gericht te veranderen.

DNA, drager van genetische informatie

DNA (deoxyribonucleïnezuur) is het molecule dat de erfelijke informatie bevat voor de bouw en het functioneren van levende wezens die wordt doorgegeven bij de replicatie of voortplanting. DNA bestaat uit een dubbele helix van twee strengen, elk opgebouwd uit een lange keten van vier verschillende componenten, de zogenaamde nucleotiden (deoxy-adenosine, deoxy-thymidine, deoxy-guanosine en deoxy-cytidine; respectievelijk afgekort met de letters A, T, G en C). De volgorde van deze vier componenten vormt de basis van de genetische code die de informatie bevat om eiwitten te maken, de bouwstenen en actieve componenten van de cel. Het stukje DNA dat de informatie bevat om één eiwit te maken wordt een 'gen' genoemd. Tussen deze genen liggen andere stukken DNA die geen informatie bevatten om eiwitten te maken, maar wel bepalen wanneer en waar de genen actief worden.

Bij hogere organismen (eukaryoten, in tegenstelling tot prokaryoten zoals bacteriën) bevindt het DNA zich in een celkern (karyon). Het totale DNA van een organisme wordt het 'genoom' genoemd. In de meeste gevallen bestaat het genoom niet uit één groot DNA-molecule, maar eerder uit een aantal aparte stukken DNA, die 'chromosomen' worden genoemd. Vooraleer een gen wordt omgezet in een eiwit, wordt het gen eerst gekopieerd (transcriptie) in een enkelstrengig 'boodschapper-RNA' (*messenger* RNA of mRNA), een molecule dat erg lijkt op DNA en ook bestaat uit een keten van vier verschillende nucleotiden. Het boodschapper-RNA kan de celkern verlaten en wordt dan later in de cel omgezet of 'vertaald' (translatie) in een eiwit. Hierbij vormen drie opeenvolgende letters (bijvoorbeeld 'ATC' of 'GAC') telkens de code om één welbepaald aminozuur toe te voegen aan een groeiende keten van aminozuren die uiteindelijk het eiwit zullen vormen. Dit algemene principe, waarbij genetische informatie vloeit van DNA naar RNA en ten slotte wordt omgezet in een eiwit, wordt wel eens het 'centrale dogma' van de biologie genoemd (figuur 1).



Figuur 1. Schematische weergave van het centrale dogma van de biologie: de informatiestroom van DNA, via enkelstrengig boodschapper-RNA, naar eiwitten.

Een opvallende eigenschap van de DNA-code is dat ze quasi-universeel is. Met andere woorden, de DNA-code in eencellige bacteriën is dezelfde als die van dieren, planten en mensen. Deze universaliteit impliceert dat het in principe mogelijk is om een gen van één organisme functioneel over te brengen naar eender welk ander organisme.

Elke cel van een organisme bevat exact hetzelfde DNA en dus ook de volledige informatie om het hele organisme op te bouwen. Afhankelijk van het type cel wordt dan een ander deel van de informatie actief gebruikt. Wanneer een organisme zich voortplant, wordt het volledige DNA gekopieerd en doorgegeven aan de volgende generatie. In eencellige organismen is dit proces meestal relatief eenvoudig: het DNA wordt eerst gekopieerd, waarna een nieuwe cel afsplitst. In meercellige organismen wordt het DNA vaak doorgegeven via voortplantingscellen (bijvoorbeeld een spermacel en een eicel), die dan samensmelten tot een nieuwe cel (zygote) waaruit een nieuw organisme kan groeien door celdeling. Bij zo'n seksuele (of geslachtelijke) voortplanting wordt dus telkens het DNA van twee ouders gecombineerd om één nieuw organisme te vormen, dat net evenveel DNA zal dragen van de vader als van de moeder in paren van overeenkomstige, 'homologe' chromosomen. Om te voorkomen dat de hoeveelheid DNA bij elke replicatiecyclus zou verdubbelen, wordt het DNA in de voortplantingscellen gehalveerd (tijdens de zogenaamde reductiedeling of 'meiose'). Voordat de homologe chromosomen van vader en moeder hierbij opnieuw worden gescheiden, vindt er wel nog een uitwisseling plaats van DNA-fragmenten, waardoor elke voortplantingscel een unieke combinatie aan informatie bevat. Enkel bij individuen van dezelfde soort is het DNA van de homologe chromosomen nog voldoende gelijkend om paring en dus vruchtbare nakomelingen mogelijk te maken. Dit is de soortbarrière.

Bij elke replicatie van het DNA bestaat ook de kans dat foutjes optreden, wat resulteert in veranderingen in de DNA-code. Deze (spontane, natuurlijke) veranderingen worden 'mutaties' genoemd. Samen met de nieuwe, unieke combinaties van DNA als gevolg van seksuele voortplanting vormen mutaties de basis voor de evolutie: het constante en geleidelijke veranderen van levende wezens, over vele generaties. Het voorkomen van mutaties en de herverdeling tijdens seksuele voortplanting impliceert dus ook dat de meeste individuen een verschillende DNA-code hebben. Soms verschillen genen slechts in één (een '*single nucleotide polymorphism*' of SNP) of enkele nucleotiden, maar de verschillen kunnen ook groter zijn. Wanneer individuen door natuurlijke selectie in een bepaalde omgeving te sterk van elkaar gaan verschillen, ontstaan nieuwe soorten.

De technieken en technologieën die gebruikt worden in de biotechnologie evolueren razendsnel. Zo is het nu mogelijk om op korte tijd de hele DNA-sequentie van een levend organisme te bepalen, en is het volledige 'genoom' van een groot aantal (micro-, dierlijke en plantaardige) organismen, inclusief dat van de mens, nu in detail gekend. Dat maakt genoomwijde studies ('genomics') mogelijk. De afnemende kosten van sequentiebepaling maken het ook mogelijk om een groot aantal individuele genoomsequenties te vergelijken om zo de natuurlijke variatie tussen individuen (zoals bijvoorbeeld SNPs of ontbrekende fragmenten, zie het kaderstuk) te associëren met bepaalde interessante kenmerken of het risico op specifieke afwijkingen of ziekten. Deze nieuwe mogelijkheden brengen ook een aantal belangrijke vragen met zich mee. Voor deze discussie verwijzen we naar de eerdere Metaforum-visietekst 'Totale genoomanalyse bij de mens'.[4]

DNA-analyse houdt dus niet noodzakelijk in dat de DNA code wordt veranderd (genetische modificatie of, met een meer beladen term, manipulatie). Het begrip van de werking van het DNA en het vertalen van de code stelt ons in staat om zeer gericht kenmerken en afwijkingen op te sporen en dus ook om op basis van moleculaire, genetische informatie problemen te anticiperen of om meer gericht en efficiënt te selecteren voor gewenste eigenschappen. Deze technologie is niet meer weg te denken uit de klassieke veredeling en kruising. In plaats van dieren en planten te kruisen en selecteren op basis van gewenste kenmerken, kijkt men nu vaak rechtstreeks naar de DNA-sequentie (vaak naar moleculaire 'merkers' die geassocieerd zijn met deze kenmerken). Dat heeft als voordeel dat gerichtere en vooral veel snellere vorderingen mogelijk zijn, omdat bijvoorbeeld niet altijd hoeft te worden gewacht tot een organisme volgroeid is om de meest interessante individuen in een populatie van planten of dieren te identificeren. Hoewel hier dus wel gebruik gemaakt wordt van genetische informatie, staat deze toepassing nauwelijks ter discussie, omdat de veredeling beperkt blijft tot natuurlijke processen die in principe ook kunnen optreden in natuurlijke omstandigheden, zonder interferentie van de mens. Toch mag de impact van deze techniek niet onderschat worden. Een mooi voorbeeld daarvan is het bekende Belgische wit-blauwe runderras (de dikbil), geselecteerd voor zijn overmatige spierontwikkeling. De genetische basis voor deze afwijking is een natuurlijke deletie (het wegvallen van een stukje DNA) in het myostatine-gen, dat de normale spiergroei onder controle houdt. Dit is in fokstieren gemakkelijk op te sporen met een eenvoudige DNA-test zodat het evidente voordeel van de extra vleesproductie kan worden afgewogen tegen de noodzaak van een keizersnede bij de geboorte van dergelijke kalveren.

normaal gen	…GGGCTTGATTGTGATGAACACTCCACAGAATCTCGAT…
'dikbil' gen	…GGGCTTGATTGTG----------ACAGAATCTCGAT…

Daarnaast leent dergelijke informatie zich natuurlijk ook tot toepassingen zoals klonen en gerichte genetische modificatie, en deze processen zijn vaak veel meer controversieel. Daardoor krijgen deze toepassingen ook veel meer media-aandacht en worden ze door het grote publiek vaak vereenzelvigd met de biotechnologie in het algemeen. Deze visietekst richt zich grotendeels op deze specifieke aspecten van de biotechnologie en daarom bespreken we deze toepassingen in meer detail in aparte gedeeltes.

[4] http://www.kuleuven.be/metaforum/page.php?FILE=wg&LAN=N&ID=14.

II. KLONEN: GENETISCH IDENTIEKE KOPIEEN

Het behouden van een specifieke interessante combinatie van eigenschappen wordt doorgaans bemoeilijkt door de geslachtelijke voortplanting van organismen, waarbij de kenmerken (genen) van beide ouders op onvoorspelbare wijze worden gemengd en verdeeld. Micro-organismen zoals bacteriën planten zich echter vaak ongeslachtelijk voort door eenvoudige celdeling, waarbij telkens identieke kopijen ontstaan van de moedercel en de genetische informatie (met uitzondering van de sporadische spontane mutaties) onveranderd wordt doorgegeven. Dergelijke genetisch identieke kopijen noemen we 'klonen'. Ook planten kunnen zich in bepaalde gevallen ongeslachtelijk (vegetatief) voortplanten (denk bijvoorbeeld aan knollen bij aardappelen, bollen bij tulpen of uitlopers van aardbeien), soms een handje geholpen door de mens (zoals bij het stekken of enten). Bovendien kan men in het laboratorium gemakkelijk plantenklonen genereren uit stukjes plantenweefsels of celculturen met de juiste combinatie van groeihormonen. De meeste plantenceltypes blijven namelijk 'totipotent', wat betekent dat ze in staat blijven om onder de juiste condities alle mogelijke celtypes en dus een volledig functioneel organisme te vormen. Vele cultuurgewassen worden zo ook *in vitro* (in de proefbuis, in het laboratorium) vermeerderd. Bij dierlijke organismen vinden we dergelijke totipotente of pluripotente eigenschappen enkel terug bij zogenaamde (embryonale of volwassen) 'stamcellen.'

Recente ontwikkelingen in de biotechnologie laten nu ook toe om (dierlijke) organismen te klonen die in de natuur geen ongeslachtelijke voortplanting kennen en waarvan dus geen natuurlijke klonen voorkomen, tenzij dan af en toe bij toevallige meerlingen. Het principe is relatief eenvoudig: men isoleert het DNA uit een willekeurige (somatische of niet-geslachtelijke) cel en brengt dit over naar een eicel waaruit eerst het DNA werd verwijderd. Deze eicel wordt dan ingeplant in een draagmoeder, zodat zich een nieuw levend organisme ontwikkelt dat hetzelfde DNA heeft als het individu waaruit het DNA werd geïsoleerd. In de praktijk is dit echter een erg complex en tot nog toe weinig efficiënt proces, met name omdat het geïsoleerde DNA moet 'geherprogrammeerd' worden naar een vroegembryonale staat. Men verandert daarbij niet de sequentie van het DNA, maar eerder de 'activiteit' van welbepaalde delen van de DNA-informatie.

Klonen kan een handige techniek zijn om genetisch identieke kopieën te genereren van erg interessante individuen.[5] In principe kan het klonen van een koe die erg veel melk geeft, resulteren in honderden genetisch identieke kopieën die (in de mate waarin de hoge melkproductie in de betrokken koe genetisch bepaald is) allemaal veel melk geven. Zo vertonen vele niet-ggo-gewassen nu al vaak weinig genetische diversiteit. Er wordt immers vaak gewerkt met zogenaamde 'inteeltlijnen', planten die voortkomen uit herhaaldelijk kruisen met ouders die genetisch erg verwant zijn. Bij langdurige inteelt wordt de meeste variatie uit de populatie verwijderd, zodat ook de nakomelingen van deze individuen weer nagenoeg hetzelfde zijn. Een dergelijke homogeniteit heeft dus belangrijke voordelen omdat alle individuen dezelfde eigenschappen (voor opbrengst, rijping, stressbestendigheid, enz.) vertonen, wat het voor producenten veel gemakkelijker maakt om

[5] Het 'reproductief' klonen van mensen, met de bedoeling genetisch identieke individuen te creëren, ligt uiteraard zowel wetenschappelijk als ethisch uiterst gevoelig en is in de meeste landen ook expliciet wettelijk verboden. Onderzoek naar niet-reproductief of 'therapeutisch' klonen op basis van stamcellen, met het oog op het behandelen van specifieke zieke of het vervangen van degenererende cellen en weefsels, is wel toegelaten. Deze ontwikkelingen en hun ethische implicaties vallen echter niet binnen de focus van deze visietekst.

op grote schaal te telen. Het gevaar van dergelijke genetisch homogene populaties is echter hun grotere kwetsbaarheid voor bijvoorbeeld ziektes of veranderende omgevingsfactoren. De grotere variatie die door seksuele reproductie in natuurlijke populaties aanwezig is, betekent namelijk ook een grotere kans op snelle aanpassing aan snel wijzigende omstandigheden zoals die onder meer optreden bij gastheer-parasiet interacties. Bij een zich seksueel voortplantende populatie is de kans immers groot dat er altijd wel enkele individuen zijn die niet of minder vatbaar zijn voor een bepaalde ziekte, of die een nuttige eigenschap hebben die niet onder alle omstandigheden tot uiting komt. Doorgedreven gebruik van klonen en gebrek aan variatie kunnen er dus toe leiden dat een hele populatie of zelfs een hele soort zou kunnen verdwijnen door ziekte of snelle veranderingen in het milieu. Het doorbreken van de genetische homogeniteit kan bovendien in bepaalde gevallen de opbrengst van gewassen ook gevoelig vergroten. Het kruisen van (genetisch homogene) inteeltlijnen geeft soms een heterosiseffect of 'hybride groeikracht' (*hybrid vigor*) in de nakomelingen van de eerste generatie. Deze techniek wordt reeds sinds de jaren dertig op grote schaal gebruikt en heeft een belangrijke bijdrage geleverd in de groene revolutie.[6] Vele van de momenteel gebruikte commerciële (ggo- én niet-ggo)gewassen, maar ook varkens en kippen voor de vleesproductie, zijn ook vandaag hybriden. Het heterosiseffect van hybridisatie gaat in de volgende generatie, na seksuele reproductie, wel opnieuw verloren, wat de terugkerende aanschaf van nieuwe hybride zaden nodig maakt. Door de *in vitro* fusie (samensmelting) van plantencellen kunnen ook somatische (niet-geslachtelijke) hybriden gecreëerd worden van twee verschillende soorten die normaal niet kunnen kruisen.

III. GENTECHNOLOGIE: RECOMBINANT DNA (rDNA)

Naast het gebruik van genetische informatie voor een meer efficiënte klassieke veredeling, kan gentechnologie ook gebruikt worden voor het rechtstreeks doelgericht veranderen of modificeren van de DNA-sequentie zelf. Zo kunnen stukjes DNA specifiek veranderd of gerecombineerd worden, en kan een gen van één organisme ingebracht worden in het genoom van een ander. Belangrijk hierbij is dat er geen limitering is door natuurlijke processen van paarvorming of door soortgrenzen. In de klassieke veredeling kunnen genen enkel blijvend uitgewisseld worden wanneer organismen vruchtbare nakomelingen kunnen voortbrengen. Omdat de DNA-code universeel is voor alle levende organismen, is het in principe echter perfect mogelijk om een stukje DNA van een olifant met dat van een mug te combineren of een gen van een mens in een microbe te laten werken (bijvoorbeeld het menselijke insulinegen in bacteriën). Dat schept uiteraard enorm veel nieuwe mogelijkheden en toepassingen.

Naargelang een specifieke toepassing thuishoort in het domein van de geneeskunde, industrie, milieubescherming of landbouw en voeding, wordt een onderscheid gemaakt tussen zogenaamde rode, witte, blauwe en groene biotechnologie, elk geassocieerd met verschillende specifieke technieken, risico's en ethische vragen (zie het kaderstuk). Daarnaast wordt gentechnologie ook zeer wijd verspreid toegepast in alle mogelijke vormen van biologisch-wetenschappelijk onderzoek. Het is

[6] Door de introductie van nieuwe landbouwtechnieken en gewasvariëteiten (zoals hybriden) en het gebruik van pesticiden en kunstmest konden landbouwopbrengsten in Zuid-Amerika en vooral Azië in de jaren zestig en zeventig dramatisch verhoogd worden, waardoor een groot aantal landen daar zelfvoorzienend werd en naar schatting een miljard mensen van de hongersnood zijn gered. Ggo's volgen het gangbare gebruik in een gewas: zo worden conventionele en ggo-sojarassen typisch als niet-hybriden vermarkt, en conventionele en ggo-maïsrassen typisch wel als hybriden.

één van de onmisbare standaardtechnieken geworden om de functies van genen na te gaan, kennis die uitzonderlijk belangrijk is om beter inzicht te krijgen in hoe levende organismen functioneren of zich ontwikkelen, en om de oorzaken van bijvoorbeeld bepaalde ziektes op te sporen.

Rood, wit, blauw en groen. Vier categorieën van biotechnologie

Op basis van de toepassingsdomeinen wordt biotechnologie opgedeeld in vier verschillende categorieën:

1. Rode biotechnologie. De rode biotechnologie groepeert alle toepassingen in de medische sector. Voorbeelden zijn de aanmaak van geneesmiddelen (antibiotica, insuline, enz.) door genetisch gemodificeerde microben of cellijnen en het ontwikkelen van diagnostische technieken om afwijkingen op te sporen door middel van DNA-analyse. Recent wordt ook onderzoek verricht naar het gebruik van gentechnologie om bepaalde genetische aandoeningen te genezen of te voorkomen (gentherapie). Opvallend is dat deze technologie omwille van haar grote mogelijkheden en directe positieve impact op onze persoonlijke gezondheid weinig controversieel is, tenzij het gaat om ver doorgedreven potentiële toepassingen waarbij bijvoorbeeld menselijke cellen of embryo´s gebruikt en genetisch gewijzigd zouden worden.

2. Witte biotechnologie. Onder witte biotechnologie verstaan we toepassingen die gericht zijn op het vervangen of verbeteren van (petro)chemische producten. Voorbeelden zijn de vergisting van melasse of afvalstromen van de papierindustrie voor de aanmaak van bio-ethanol, maar ook de productie van bio-afbreekbare *bioplastics* uit precursoren die gemaakt worden door genetisch gewijzigde microben of planten. Ook deze technologie is doorgaans weinig controversieel, omdat ook hier de toepassing in afgesloten eenheden gebeurt.

3. Blauwe biotechnologie. Blauwe biotechnologie is gericht op het conserveren of saneren van het milieu (water, lucht en/of bodem). Een voorbeeld van dergelijke biotechnologie in de ruimste zin van het woord is het toevoegen van microbiële gemeenschappen aan onze waterzuiveringsinstallaties, maar recent wordt ook onderzocht of genetisch gewijzigde microben kunnen helpen bij het zuiveren van vervuilde bodems of oppervlaktewater. Blauwe biotechnologie is nog erg recent en weinig controversieel, al valt af te wachten hoe grootschalig gebruik van gemodificeerde micro-organismen in niet-afgesloten situaties zal worden gepercipieerd.

4. Groene biotechnologie. Groene biotechnologie omvat alle toepassingen in de agrarische sector en voedselproductie. Indien men een heel brede definitie hanteert, kan men stellen dat alle landbouw en veeteelt onder de noemer van groene biotechnologie vallen, maar de term wordt in de praktijk toch vooral geassocieerd met meer specifieke en recente toepassingen waarbij moleculaire technieken en gentechnologie een belangrijke rol spelen. Voorbeelden zijn het gebruiken van DNA-technologie bij het veredelen van gewassen en vee of toepassingen waarbij transgene planten gecultiveerd worden.

'Biotechnologie' is dus een erg breed begrip, en een groot deel van de toepassingen staan vandaag ook helemaal niet ter discussie. Het felste debat betreft 'onnatuurlijke' technieken waarbij specifieke veranderingen gericht worden aangebracht in de genetische informatie, DNA-fragmenten van één organisme worden overgebracht in een ander organisme (dat eventueel zelfs tot een andere soort, een andere klasse of ander rijk behoort) of waarbij organismen worden gekloond. Ook niet alle

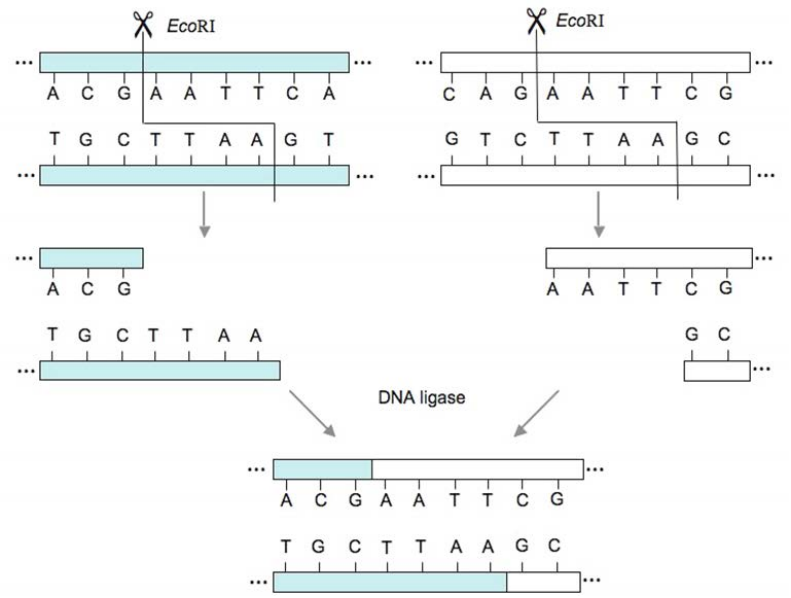
toepassingen van deze technieken zijn gecontesteerd, maar vooral diegene waarbij de gemodificeerde organismen 'in het veld' worden gebracht. Toepassingen waarbij de gemodificeerde organismen in afgesloten laboratoria en fermentatievaten worden gecultiveerd, zijn veel minder omstreden. Deze visietekst concentreert zich hoofdzakelijk op het meest controversiële type van groene biotechnologie: het gebruik van genetische modificatie in de landbouw en voedselproductie.

Deze toepassingen zijn gebaseerd op een aantal belangrijke technieken, die we hier ook meegeven voor een goed begrip van de technologie. Om de enorm (miljoenen basenparen) lange DNA-moleculen te sequeneren (de exacte lettervolgorde te bepalen) en te modificeren, is het praktischer om ze in kleinere, handelbare fragmenten te verdelen. De ontdekking (in 1970) van restrictie-enzymen, die als een 'moleculaire schaar' het dubbelstrengig DNA op zeer specifieke plaatsen kunnen doorknippen, betekende dan ook een belangrijke doorbraak (figuur 2). Bacteriën gebruiken dergelijke enzymen om vreemd DNA (bijvoorbeeld van bacteriofagen, kleine virussen die bacteriën infecteren) te vernietigen. Ondertussen hebben wetenschappers de keuze uit honderden commercieel beschikbare restrictie-enzymen, elk met hun specifieke herkenningssequentie en knipplaats (restrictieplaats). DNA-fragmenten kunnen op grootte gescheiden worden in een elektrische stroom (electroforese) en gedetecteerd worden met behulp van fluorescerende stoffen.

micro-organisme	enzyme	sekwentie
Escherichia coli	*Eco*RI	5' ... G ✂ A A T T C ... 3' 3' ... C T T A A G ... 5'
Escherichia coli	*Eco*RV	5' ... G A T ✂ A T C ... 3' 3' ... C T A T A G ... 5'
Bacillus amyloliquefaciens	*Bam*HI	5' ... G ✂ G A T C C ... 3' 3' ... C C T A G G ... 5'

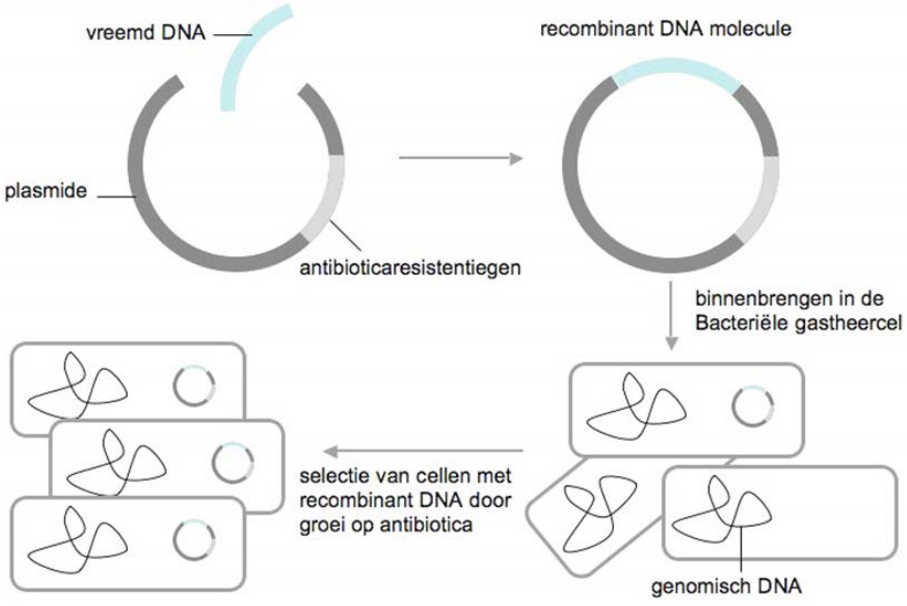
Figuur 2. Veelgebruikte restrictie-enzymen en hun (vaak palindromische) herkenningssequentie- en knipplaats. De meeste restrictie-enzymen produceren overhangende DNA uiteinden, een aantal knipt het DNA mooi in het midden van de herkenningssequentie.

Dergelijke fragmenten kunnen opnieuw associëren (door basenparing bij overhangende stukken) en permanent aan elkaar gebonden (geligeerd) worden met behulp van het (virale) enzyme DNA-ligase. In principe kunnen zo DNA-fragmenten van totaal verschillende oorsprong met elkaar gerecombineerd worden. Het resultaat is recombinant DNA (figuur 3).



Figuur 3. Knippen en plakken: constructie van recombinant DNA (rDNA) met het EcoRI restrictie-enzyme en DNA-ligase.

Voor een efficiënt gebruik moeten (recombinante) DNA-moleculen eerst geamplificeerd worden tot voldoende grote hoeveelheden. We spreken dan van het moleculair klonen van een DNA-fragment (wat verschilt van het klonen van een volledig organisme zoals hoger besproken). Bacteriën bevatten van nature kleine circulaire extra-chromosomale DNA-moleculen die zich ook onafhankelijk van het genomisch (chromosomaal) DNA kunnen repliceren, soms tot duizenden kopijen per cel. Deze 'plasmiden' kunnen eenvoudig geïsoleerd worden en worden vaak gebruikt als drager of 'vector' van (recombinante) DNA-fragmenten, die dan in de bacteriecel mee worden vermeerderd. Een selectiemerker (bijvoorbeeld een gen voor resistentie tegen antibiotica) zorgt ervoor dat de bacteriën met het recombinante DNA kunnen geselecteerd worden (figuur 4). Grote hoeveelheden recombinant DNA kunnen zo opgezuiverd worden uit bacteriële celculturen (typisch varianten van een klassieke *Escherichia coli* darmbacterie).



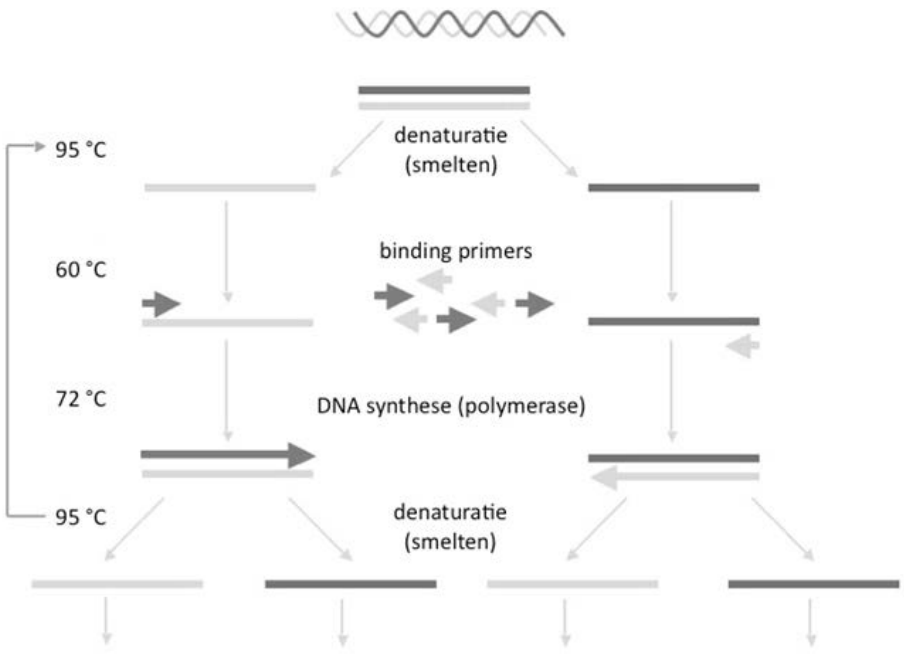
Figuur 4. Moleculair klonen van recombinant DNA in bacteriële plasmiden.

Deze rDNA-technologie is uiteraard onderhevig aan strenge veiligheidsvoorschriften, die al snel na het ontstaan van de techniek door de wetenschappers zelf zijn opgesteld (met de eerste conferentie in Asilomar, Californië, in 1975). Zo mogen de gebruikte bacteriële varianten bijvoorbeeld niet leefbaar zijn buiten het laboratorium.

Vaak zijn de beschikbare starthoeveelheden DNA echter zeer klein. De wat excentrieke wetenschapper Kary Mullis kwam in 1983 op het geniale idee om DNA-polymerase (een enzyme of katalyserend eiwit dat door de cel wordt gebruikt om het DNA te dupliceren voor de celdeling) te gebruiken in een kettingreactie om op een gecontroleerde manier zeer kleine hoeveelheden van een specifiek DNA-fragment selectief te vermeerderen in het lab: de polymerasekettingreactie of PCR (*polymerase chain reaction*, zie het kaderstuk, figuur 5).

Polymerase Chain Reaction (PCR)

Wanneer een dubbelstrengig DNA-molecule op hoge temperatuur wordt gedenatureerd of 'gesmolten' tot twee enkelvoudige strengen, kunnen deze beiden opnieuw *in vitro* (in een proefbuisje) worden gedupliceerd door een DNA-polymerase bij iets lagere temperaturen, wat na herhaling van het proces (de kettingreactie) resulteert in een exponentiële vermenigvuldiging van het molecule in aanwezigheid van voldoende bouwstenen (A,T,C,G). Verschillende cycli van veranderende incubatietemperaturen kunnen geprogrammeerd worden in een eenvoudig PCR-apparaat of thermale 'cycler', uitgerust met een warmtepomp. Aangezien tussen de verschillende duplicatiestappen het reactiemengsel telkens moet worden verwarmd tot dicht bij het kookpunt, wordt gebruik gemaakt van DNA-polymerasen uit organismen zoals de *Thermus aquaticus*-bacterie die in warmwaterbronnen en geisers leven en thermostabiele eiwitten bezitten. Meer recente recombinante versies van het polymerase werken sneller en met een grotere nauwkeurigheid en kleine foutmarge. Om specifieke DNA-fragmenten te amplificeren wordt gebruikt gemaakt van 'primers', kleine DNA-*probes* die exact complementair zijn en binden aan de uiteinden van de te dupliceren sequentie en vervolgens verlengd worden door het polymerase.



Figuur 5. Een PCR-cyclus met de drie typische stappen: denaturatie, primer-binding en polymerisatie.

Het belang van PCR in het moderne biologische onderzoek kan nauwelijks overschat worden en deze techniek werd bekroond met de Nobelprijs voor de scheikunde in 1993. Aangezien PCR in staat is om één of enkele kopijen van een (bijvoorbeeld genomisch) DNA-fragment te amplificeren, is het een essentiële techniek geworden voor verschillende toepassingen in het fundamenteel onderzoek, de diagnostiek van genetische afwijkingen, forensisch sporenonderzoek en detectie van rDNA in ggo's.

IV. GGO'S: GENETISCH GEMODIFICEERDE ORGANISMEN

De rDNA-technologie kan nu ook gebruikt worden om de genetische informatie in een organisme aan te passen of te modificeren. De creatie van genetisch gemodificeerde organismen vereist dat het recombinante DNA in het organisme wordt binnengebracht (transgenese). We spreken dan ook van 'transgene' organismen. Voor stabiele ggo's die de nieuwe eigenschappen ook aan hun nakomelingen kunnen doorgeven, moet het transgene DNA meestal ook in het genomisch (chromosomaal) DNA ingebouwd worden. Dit kan willekeurig gebeuren of door homologe recombinatie (een natuurlijk proces waarbij het transgene DNA met gelijkende – homologe – genomische DNA-sequenties gaat recombineren en fragmenten uitwisselen). Gentransfer in micro-organismen zoals bacteriën en gist kan vrij efficiënt, door middel van een eenvoudige chemische behandeling van de cellen en een korte elektrische of hitte-schok. In hogere organismen zijn meer gesofisticeerde methoden nodig. Bij dieren wordt het transgen bijvoorbeeld in een bevruchte eicel geïnjecteerd of worden onschadelijk gemaakte virussen gebruikt om het DNA in de cel te brengen (virussen bouwen natuurlijk ook vaak hun DNA in het 'gastheer'-genoom in). Eén van de grote uitdagingen van de gentherapie is zo het maken van geschikte onschadelijke virale vectoren die specifieke celtypes als doelwit hebben. Voor het creëren van transgene planten maken wetenschappers ook gebruik van een natuurlijk voorkomende transgenese. Breedbladerige (tweezaadlobbige of dicotyle) gewassen zijn gevoelig voor infectie door de algemeen voorkomende bodembacterie *Agrobacterium tumefaciens*, die karakteristieke tumoren veroorzaakt bij planten. Dit doet ze door een deel van haar tumor-inducerend (Ti) plasmide (het T-DNA of transfer-DNA) in te bouwen in het genoom van de geïnfecteerde plantencel en zo met een aantal van de eigen genen (die coderen voor eiwitten die groeihormonen produceren) de celdeling (tumorvorming) en voedselproductie voor eigen gebruik te stimuleren. 'Ontwapend' T-DNA (waarbij de tumor-inducerende genen vervangen zijn) kan zo ook rDNA in de plant inbouwen met behulp van de *Agrobacterium* bacterie zonder infectiesymptomen. Deze technologie is o.a. ontwikkeld door de Vlaamse onderzoekers Jef Schell en Marc Van Montagu, nu net dertig jaar geleden. Voor planten die van nature niet gevoelig zijn voor *Agrobacterium*-infectie (de meeste graangewassen bijvoorbeeld) moeten technische aanpassingen of alternatieven gebruikt worden. Naast het gebruik van *in vitro* (embryo)weefselculturen voor *Agrobacteriu*m-gemedieerde transformatie kunnen ook kleine goudbolletjes, bekleed met plasmide-DNA, rechtstreeks in de cel geschoten worden met behulp van een 'genenkanon'.

In bepaalde gevallen is het eerder nuttig om de functie van een gen uit te schakelen voor het verkrijgen van een gewenste eigenschap. De specifieke 'knock-out' (KO) of 'silencing' van genen (zie het kaderstuk) is bovendien een ideale manier om de functie ervan te bestuderen in modelorganismen (zoals ook met KO-muizen of -ratten in het medisch onderzoek) wanneer er geen (spontane of geïnduceerde) mutanten beschikbaar zijn.

Ssssst

Ook 'gene silencing' is mogelijk met gentechnologie, bijvoorbeeld door de expressie van een 'anti-sense' RNA-molecule dat de complementaire sequentie maar omgekeerde oriëntatie heeft van het natuurlijke plant-mRNA (geproduceerd wanneer een gen tot expressie komt) en daar bijgevolg mee gaat binden ter vorming van dubbelstrengig RNA (dsRNA). Dit blokkeert dan de eiwitsynthese. dsRNA wordt door de plant bovendien herkend als 'vreemd' (bijvoorbeeld van virale oorsprong) en verknipt tot zeer korte RNA-molecules (de *small interfering* RNA's of siRNA's; slechts een twintigtal nucleotiden lang) die op hun beurt (via een complex proces) zorgen voor de afbraak van de complementaire mRNA-molecules. De meeste celtypes (van zowel planten als dieren) gebruiken ook van nature dergelijke kleine RNA-moleculen (micro-RNA's of miRNA's) om andere, deels complementaire, eiwitcoderende mRNA's te inhiberen. Dit mechanisme van 'RNA-interferentie' (of RNAi) speelt dus zowel een rol bij de verdediging van cellen tegen ziekteverwekkers zoals virussen als bij de normale groei en ontwikkeling. Artificiële miRNA's of amiRNA's zijn dan ook een zeer efficiënte manier om plantengenen specifiek het zwijgen op te leggen. DNA-constructen die coderen voor dergelijke RNA-moleculen kunnen (net zoals bij ander rDNA) door transgenese in het plantengenoom ingebracht worden. De wetenschap zet echter grote stappen voorwaarts en er worden nieuwe technologieën ontwikkeld om zeer gericht het genomisch DNA zelf rechtstreeks te modificeren en zo stabiele mutaties, deleties of inserties aan te brengen.[7]

Voor de selectie van transgene cellen en organismen wordt vaak een selectiemerker mee op het plasmide (T-DNA) ingebracht, bijvoorbeeld een gen dat de plant resistent maakt tegen een antibioticum of herbicide. Op deze manier kunnen de transgene gewassen, die het rDNA hebben opgenomen en ingebouwd in hun genoom, efficiënt geïsoleerd en geselecteerd worden. De aanwezigheid van dergelijke resistentiemerkers is een belangrijk punt van aandacht en kritiek. Er wordt dan ook intensief onderzoek verricht naar 'clean vector'-technologie, die geen sporen nalaat. Een Europese richtlijn uit 2001 voorzag al de afbouw van het gebruik van antibioticaresistentiemerkers, die dus bij nieuwe toepassingen niet meer worden gebruikt.[8]

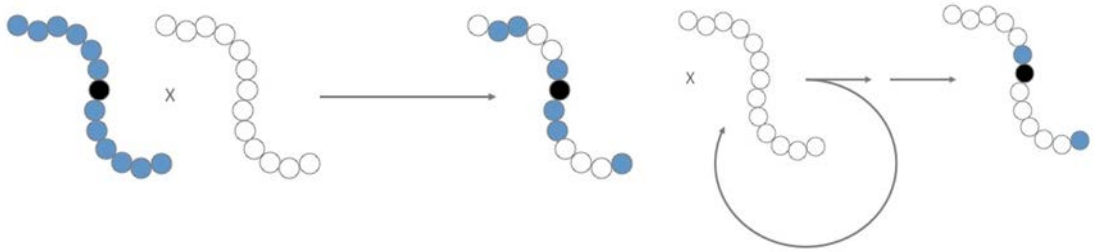
V. KLASSIEKE VEREDELING VERSUS GENTECHNOLOGIE

Belangrijk in deze discussie is een goed begrip van de verschillen tussen klassieke veredeling en het gebruik van gentechnologie. De traditionele veredeling gebruikt selectie en kruising van gewassen met gewenste eigenschappen, zonder kennis van de moleculaire basis van deze eigenschappen. Bij kruising wordt de genetische informatie (die codeert voor de eigenschappen) van de twee ouderplanten door recombinatie van genomische DNA-fragmenten willekeurig door elkaar gehaald, waarbij – zoals steeds bij seksuele voortplanting – elke ouder ongeveer de helft van de informatie bijdraagt. Op de gerecombineerde fragmenten zitten bovendien een aantal gekoppelde (gelinkte) genen, die niet individueel of onafhankelijk maar meestal samen worden doorgegeven (we spreken van *linkage disequilibrium*, LD). Het vereist bijgevolg – en zeker bij polygene kenmerken (waarbij verschillende genen samen verantwoordelijk zijn voor een bepaald kenmerk) – een jarenlang proces van terugkruising en selectie om enkel de gewenste kenmerken te behouden (zie figuur 6). Bovendien beperkt de veredeling zich in principe tot de kenmerken die al in de soort en haar (al dan niet wilde) varianten aanwezig zijn. Daarnaast is willekeurige mutagenese (het inbrengen van

[7] Zie bijvoorbeeld de zogenaamde 'genome editing'-technologieën met artificiële restrictie-enzymen zoals *zinc-finger* nucleasen (ZFN) (Shukla et al. 2009; Townsend et al. 2009), *transcription activator-like effector* nucleasen (TALENs) (Joung & Sander 2013) of *clustered regularly interspaced short palindromic repeats* (CRISPR)-gebaseerde technieken (Pennisi et al. 2013).

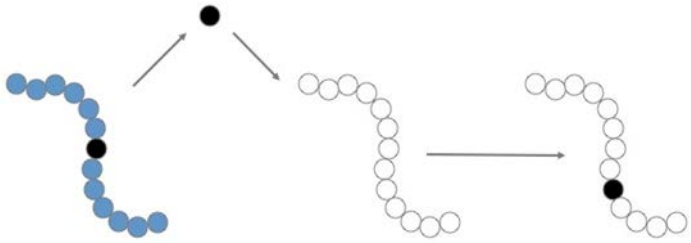
[8] 2001/18, Artikel 4.

mutaties) door X-stralen of mutagene chemische stoffen ook een gangbare veredelingspraktijk die vaak tot verrassende resultaten leidt (roze pompelmoezen zijn daar een voorbeeld van), maar deze worden niet als ggo bestempeld.



Figuur 6. Klassieke veredeling vereist een jarenlang proces van terugkruisingen om de ongewenste kenmerken (gekleurde bollen) kwijt te raken met behoud van een specifiek gewenst kenmerk (zwarte bol).

Bij ggo's daarentegen kan één enkel specifiek of een beperkt aantal goed gekarakteriseerde DNA-fragmenten op gecontroleerde wijze ingebracht worden in een organisme (bij planten echter vaak op een willekeurige plaats in het genoom; de technologie voor gerichte insertie is nog in ontwikkeling), waarna dit volgens de meest strenge criteria wordt getest (figuur 7).



Figuur 7. Met gentechnologie kan het gewenste kenmerk (bijvoorbeeld met PCR) specifiek worden geïsoleerd uit een organisme en in een ander organisme met de gewenste genetische achtergrond gebracht worden.

Het is bovendien vereist dat deze transgene organismen (en de plaats van insertie) gemakkelijk te identificeren zijn, bijvoorbeeld door PCR op het transgene DNA-fragment, zodat hun eventuele verspreiding onder natuurlijke populaties en hun aanwezigheid in de voedselketen kan worden gevolgd. De aanwezigheid van transgeen materiaal in voeding moet ook detecteerbaar zijn en geëtiketteerd worden voor de consument (zie 4. Teelt en vermarkten: wetgeving en besluitvorming, p. 34).

Naast de doelgerichtheid en specificiteit, is vooral de snelheid waarmee organismen genetisch gemodificeerd kunnen worden een groot voordeel ten opzichte van de klassieke veredeling. Bovendien beschikt de gentechnologie over een veel ruimer repertoire aan kenmerken uit alle mogelijke verschillende microbiële, dierlijke en plantaardige soorten aangezien de DNA-code universeel is. Heel wat van de transgene gewassen die vandaag op de markt zijn, bevatten in hun genoom een bacterieel stukje DNA dat codeert voor een toxine en hen beschermt tegen insectenvraat (zie C. Ggo-gewassen in de praktijk, p. 27). Wanneer bij genetische modificatie alleen DNA gebruikt wordt van dezelfde soort (bijvoorbeeld een DNA-fragment dat van één variëteit maïs naar een andere variëteit wordt overgebracht, of het verwijderen van een stukje DNA uit een organisme) spreken we van 'cis-genese' (of soms ook wat verwarrend van *self-cloning*). In een aantal (niet-Europese) landen heeft men speciale, minder strenge regels en wetten die het gebruik van cis-genese reguleren. Technisch gezien gaat het echter nog steeds om ggo's (het genetisch materiaal is veranderd op een manier die van nature, door voortplanting en/of natuurlijke recombinatie, niet

mogelijk is). Een mooi voorbeeld van cis-genese zijn de (merker-vrije) DuRPh aardappelen[9] met meerdere resistentiegenen voor een duurzame resistentie (en minder gebruik van fungiciden) tegen *Phytophthora*, de pathogeen verantwoordelijk voor de aardappelziekte.[10]

De beschikbaarheid van een hele 'bouwdoos' aan componenten en de mogelijkheid om ook kunstmatig DNA-sequenties (en zelfs volledige genomen) aan te maken, heeft geleid tot een nieuwe discipline, de 'synthetische biologie', waarbij nieuwe organismen in principe 'op maat' kunnen worden gemaakt, bijvoorbeeld voor bio-remediëring (de afbraak van olieproducten of andere toxische componenten) van water en bodem of voor de productie van nieuwe en hernieuwbare stoffen en materialen. Voorlopig bevindt dit onderzoek zich nog in een verkennende fase, aangezien onze kennis van de werking van levende organismen nog beperkt is. Dit is een interessant debat op zich, want deze schijnbaar onbeperkte mogelijkheden brengen ongetwijfeld ook enorme nieuwe risico's en ethische vragen met zich mee.

C. GGO-GEWASSEN IN DE PRAKTIJK

De mogelijkheden van genetische modificatie zijn duidelijk zeer groot en een aantal producten van de groene biotechnologie worden al wijdverspreid en op grote arealen gecultiveerd, met Europa als opvallende uitzondering. Er wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen eerste- en tweedegeneratie-ggo's. Eerstegeneratie-ggo's zijn gewasvarianten die bestand zijn tegen bepaalde vormen van biotische (insecten, virussen, schimmels, enz.) of abiotische stress (droogte, koude, nutriëntentekort, enz.) en andere landbouwkundige eigenschappen bezitten voor een meer efficiënte en productieve teelt. Tweedegeneratie-ggo's zijn gewasvarianten die kwaliteitsverbeteringen bevatten met betrekking tot de voedingswaarde (zoals biofortificatie, het verhogen van het gehalte aan micronutriënten zoals ijzer en vitamines) en industriële toepassingsmogelijkheden (cfr. biobrandstoffen).

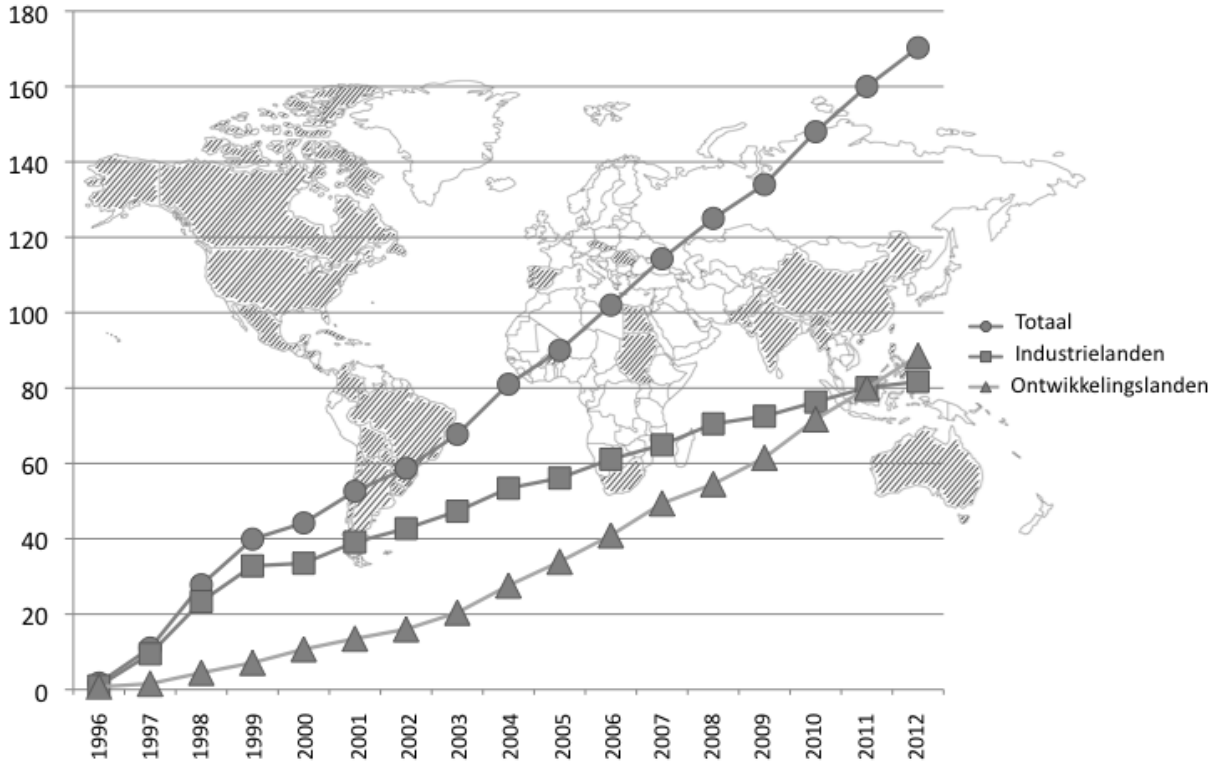
I. EEN BLIK OP HET HUIDIGE GGO-AREAAL IN DE WERELD

De eerste commerciële aanplantingen van ggo-gewassen in de Verenigde Staten (VS) dateren van het midden van de jaren negentig. Sindsdien is de oppervlakte vrij gelijkmatig blijven toenemen tot momenteel ongeveer 170 miljoen ha (figuur 8), meer dan 12% van het totale landbouwareaal wereldwijd. Dit komt overeen met ongeveer 300 keer de oppervlakte van het volledige landbouwareaal in Vlaanderen. De gemiddelde jaarlijkse toename bedraagt ongeveer 20 miljoen ha. De uitbreiding gebeurde initieel vooral in landen zoals de VS en Canada, die het leeuwendeel van de ggo-productie in de industrielanden voor hun rekening nemen. De toename in ontwikkelde landen is nu wat gestagneerd, deels omdat deze teelten in Europa niet echt van de grond komen (zie verder), maar mogelijk ook door het nog weinig diverse aanbod: het gaat vandaag immers nog altijd over een beperkt aantal gewassen en een beperkt aantal toepassingen (zie II. Geteelde ggo's, p. 29). Hoewel

[9] De DuRph aardappelplanten (www.durph.nl) zijn ontwikkeld door het Nederlandse Wageningen Universiteit & Research Center (WUR) en recent (in 2011 en 2012) door een onderzoeksconsortium van UGent, ILVO, VIB en HoGent getest in veldproeven op de ILVO-terreinen in Wetteren (http://www.aardappelziekte.be). De veldproeven kwamen in mei 2011 in het nieuws met de acties van de Field Liberation Movement (FLM).

[10] Zo wordt humaan insuline als één van de eerste recombinante eiwitten al sinds het einde van de jaren zeventig geproduceerd in de bacterie *Escherichia coli* en recenter ook door (eukaryote) gistcellen. Vroeger werd dierlijk insuline gebruikt voor de behandeling van diabetes (suikerziekte) en was de aanmaak zeer omslachtig.

het gebruik van ggo-gewassen in ontwikkelingslanden (waarbij in figuur 7 ook de BRICS-landen werden gerekend: Brazilië, Rusland, Indië, China en Zuid-Afrika) traag op gang kwam, is de huidige groei duidelijk versneld en is het totale ggo-areaal van deze landen sinds enkele jaren zelfs groter dan dat van de industrielanden. Men verwacht dat deze groei nog beduidend zal toenemen, zeker in China, waar de ggo-teelt pas recent werd geïntroduceerd.



Figuur 8. Evolutie van het wereldwijde areaal ggo-gewassen, verdeeld over industrielanden en ontwikkelingslanden (inclusief BRICS-landen), in miljoen hectaren (bron: Clive James, 2012).

Momenteel worden ggo-gewassen geteeld in 28 landen (tabel 1), naar areaal-oppervlakte hoofdzakelijk in Noord- en Zuid-Amerika, maar ook in Zuidoost-Azië zijn er steeds meer landen waar ggo-gewassen worden verbouwd. In 15 van de 28 landen met ggo-teelt bedraagt de totale oppervlakte hiervan op dit ogenblik telkens nog minder dan 0,5 miljoen ha. Het stijgend areaal en de toenemende verspreiding van ggo-gewassen wijst er echter op dat ggo-teelt door de producent als voordelig wordt ervaren.

Daarnaast is de import van ggo-gewassen voor veevoeder toegelaten in 30 bijkomende landen, zodat ggo-gewassen toegankelijk zijn voor en (al dan niet rechtstreeks) gebruikt worden door ongeveer 75% van de wereldbevolking, inclusief in Europa en Japan, waar de houding tegenover ggo's zeer terughoudend is.

Tabel 1. Landen met ggo-teelt, gerangschikt volgens areaal in 2012 (in miljoen ha, Mha) (bron: Clive James, 2012).

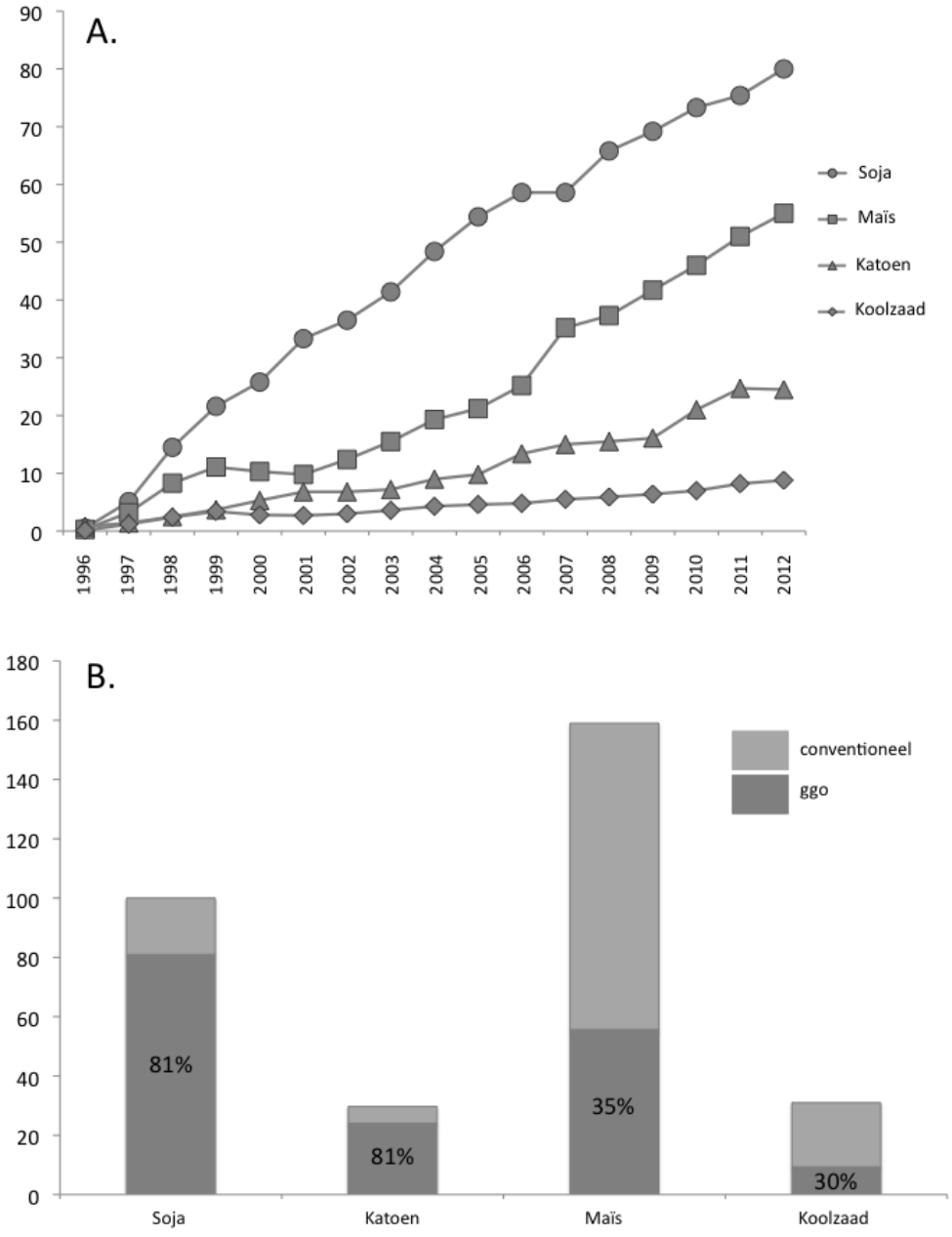
Land	Oppervlakte ggo-gewassen (Mha)	Land	Oppervlakte ggo-gewassen (Mha)
1. Verenigde Staten	69,5	15. Myanmar	0,3
2. Brazilië	36,6	16. Mexico	0,2
3. Argentinië	23,9	17. Spanje	0,1
4. Canada	11,6	18. Chili	< 0,05
5. India	10,8	19. Colombië	< 0,05
6. China	4,0	20. Honduras	< 0,05
7. Paraguay	3,4	21. Soedan	< 0,05
8. Zuid Afrika	2,9	22. Portugal	< 0,5
9. Pakistan	2,8	23. Tjechië	< 0,05
10. Uruguay	1,4	24. Cuba	< 0,05
11. Bolivië	1,0	25. Egypte	< 0,05
12. Filipijnen	0,8	26. Costa Rica	< 0,05
13. Australië	0,7	27. Roemenië	< 0,05
14. Burkina Faso	0,3	28. Slovakije	< 0,05

Het aantal boeren dat ggo-gewassen teelt, een geschatte 17,4 miljoen wereldwijd in 2012, is verrassend groot, gegeven dat vaak wordt aangenomen dat ggo-teelt vooral op grote schaal gebeurt en gewassen niet altijd even toegankelijk zijn voor kleinere boeren. Een ggo-landbouwer teelde in 2012 gemiddeld ongeveer 10 ha ggo-gewassen. Terwijl de oppervlakte van de gemiddelde ggo-teelt in de industrielanden eerder groot is (ongeveer 50 ha), bedraagt die in ontwikkelingslanden (inclusief BRICS-landen) slechts 6 ha. Maar ook binnen deze laatste groep zijn grote verschillen waarneembaar. Zo zijn er zowel in China als in India meer dan 7 miljoen boeren met ggo-gewassen op een gemiddelde oppervlakte van respectievelijk 0,5 en 1,3 ha. In Burkina Faso (met 100.000 ggo-boeren) ligt de gemiddelde oppervlakte zelfs nog lager, op slechts 0,1 ha. Men kan dus stellen dat de overgrote meerderheid van ggo-gewassen hier op relatief kleine schaal wordt geteeld en door een groot aantal ‘kleine’ boeren. Dit reflecteert uiteraard ook de grote verschillen met onze geïndustrialiseerde landbouw en voedselproductie. Zo telt Vlaanderen ter vergelijking vandaag ongeveer 25.000 landbouwbedrijven (inclusief veeteeltbedrijven).

II. GETEELDE GGO’S

WELKE GEWASSEN?

Bijna alle commerciële ggo-toepassingen die vandaag bestaan en een betekenisvol areaal innemen, hebben betrekking op slechts vier gewassen. In volgorde van belangrijkheid zijn dit: soja, maïs, katoen en koolzaad (figuur 9).

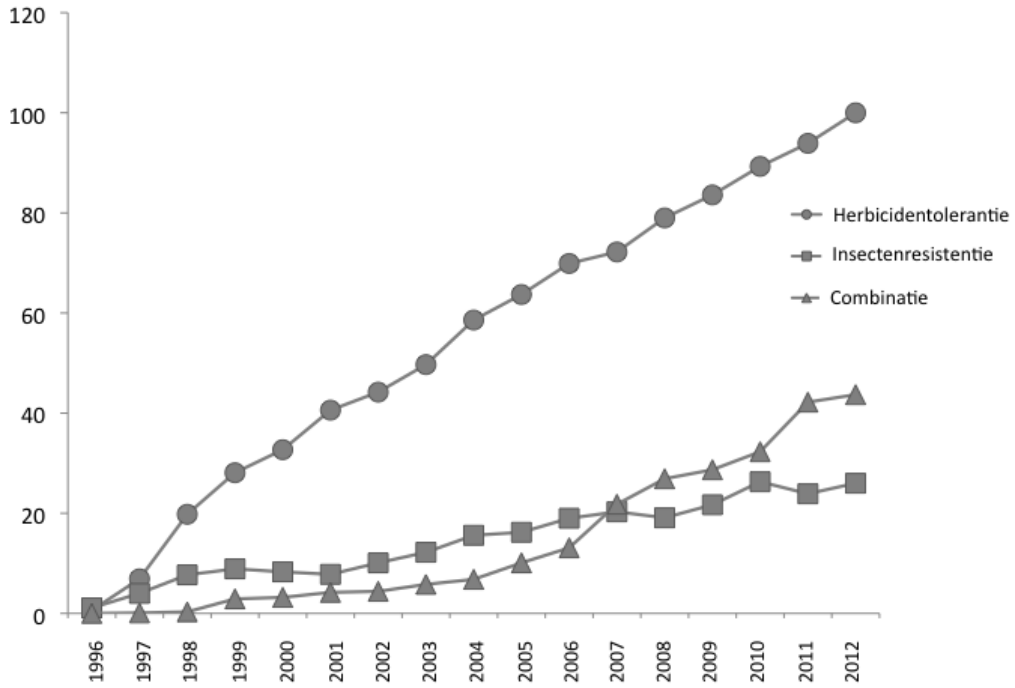


Figuur 9. Toename van het areaal (in miljoen ha) transgene soja, katoen, maïs en koolzaad (A) en het relatieve aandeel van transgene en conventionele gewassen (B) (bron: Clive James, 2012).

Het aandeel transgene soja en katoen bedraagt momenteel meer dan 80% van het wereldareaal van deze gewassen. Soja en katoen worden in Europa weinig verbouwd, wat bijdraagt aan het grote aandeel van de transgene gewassen. Bij maïs en koolzaad ligt dit aandeel veel lager (ongeveer 30%). Deze gewassen worden in belangrijke mate ook in Europa geteeld. Wereldwijd zijn deze vier gewassen zeer belangrijk en in de praktijk richten de transgene toepassingen zich vooral op grote teelten, waarvan multinationals (met de verkoop van zaad en/of chemische producten, vaak beschermd met intellectuele eigendomsrechten) ook de grootste financiële opbrengst kunnen verwachten. Deze transgene gewassen worden in de eerste plaats niet gebruikt voor verse consumptie, maar wel voor verwerking (katoen, koolzaad, soja) of voor veevoeder (maïs, soja). In de VS wordt trouwens een groot gedeelte van de maïs (sterk gesubsidieerd) geteeld als energiegewas voor bio-ethanolproductie.

WELKE GENETISCHE MODIFICATIES?

In de meeste transgene gewassen die vandaag op grote schaal verbouwd worden, zijn twee nieuwe eigenschappen ingebouwd: herbicidentolerantie en insectenresistentie. Soms combineren ze beide eigenschappen (figuur 10).



Figuur 10. Toename van het areaal gewassen (in miljoen ha) die genetisch gemodificeerd werden voor herbicidentolerantie, insectenresistentie of de combinatie van beiden (bron: Clive James, 2012).

Herbicidentolerantie is op dit ogenblik veruit het belangrijkste kenmerk. Deze gewassen zijn resistent gemaakt tegen specifieke chemische verbindingen, zoals bijvoorbeeld glyfosaat (de RoundupReady® gewassen van Monsanto) of glufosinaat-ammonium (de LibertyLink® gewassen van Bayer). Waar glyfosaat bijvoorbeeld normaal gezien een specifiek planteneiwit inhibeert (dat niet voorkomt in mens en dier), produceren de transgene gewassen een analoog werkend, maar herbicide-ongevoelig alternatief bacterieel eiwit (resistentie tegen glufosinaat-ammonium gebruikt ander mechanismen, zoals detoxificatie). Het voordeel van deze gewassen bestaat erin dat onkruiden efficiënt kunnen worden bestreden zonder schade aan het landbouwgewas. Naast deze gevoelige besparing voor de landbouwer hebben stoffen zoals glyfosaat het bijkomende voordeel dat ze (in vergelijking met meer conventionele herbiciden) snel worden afgebroken en omwille van de beperkte restresidu's potentieel ook minder milieubelastend zouden zijn. Anderzijds geeft het feit dat ruim 75% van de ggo-teelten wereldwijd resistent zijn tegen specifieke commerciële totaalherbiciden ook aan dat deze toepassingen in de eerste plaats commercieel interessant zijn voor de *agrobiotech*-industrie zelf.

Insectenresistentie is een ander veelvoorkomend ingebouwd kenmerk en vaak gaat het om zogenaamde Bt-gewassen die natuurlijke bacteriële (*Bacillus thuringiensis, Bt*) toxines produceren. Deze eiwitten zijn enkel toxisch voor insecten bij inname en werken dus in principe alleen tegen insecten (rupsen) die bij deze gewassen vraatschade veroorzaken. Bt-gewassen moeten dus minder behandeld worden met insecticiden, zodat er naast een besparing voor de landbouwer ook een

potentieel voordeel voor het milieu kan zijn. Deze natuurlijke toxines worden ook in de biologische teelt aangeraden, waar preparaten op basis van Bt (en dus niet de transgene planten) commercieel gebruikt worden, bijvoorbeeld bij de bestrijding van de preivlieg. Een belangrijk verschil is wel dat een dergelijk extern gebruik zeer tijdelijk is.

De beide eigenschappen van herbicidentolerantie en insectenresistentie kunnen ook worden gecombineerd en zijn ook in andere belangrijke voedings- en voedergewassen (zoals rijst of suikerbiet) geïntroduceerd. Andere toepassingen op de markt of in ontwikkeling zijn echter zeer divers, gaande van resistentie tegen allerhande specifieke ziekteverwekkers (zoals virusresistentie in papaja of resistentie tegen de aardappelziekte bij de aardappel) en verhoogde voedselkwaliteit of voedingswaarde (zoals de 'gouden' rijst met β-caroteen of provitamine A, om de dramatische effecten van vitamine A-tekorten, zoals blindheid en bij kinderen zelfs sterfte, tegen te gaan in ontwikkelingslanden) tot de ontwikkeling van specifieke energiegewassen (met geoptimaliseerde zetmeel- of celwandsamenstelling) en het gebruik van planten als bioreactor voor de productie van hoogwaardige geneesmiddelen en grondstoffen (zoals vaccins en *bioplastics*). In het kader van de klimaatverandering en de grote druk op het areaal vruchtbare landbouwgrond is vooral de ontwikkeling van gewassen met verhoogde stresstolerantie en nutriënt- en watergebruikefficiëntie interessant. Recent werd in de VS, waar extreme droogte een groeiend probleem is, een nieuwe maïs-variëteit toegelaten voor commercieel gebruik. Deze planten, ontwikkeld door Monsanto en BASF, zouden in veldproeven bij droogte 8% hogere opbrengsten halen. Hoewel deze resultaten hoopvol zijn, blijft het een open vraag of dergelijke significante opbrengstverbeteringen ook onder natuurlijke omstandigheden zullen optreden.[11]

Planten zijn immobiele organismen die zelf in hun energiebehoeften moeten voorzien door fotosynthese, en zijn in het veld zeer sterk afhankelijk van de complexe interacties met de directe biotische en abiotische omgeving. Daarom zullen ook steeds meer verschillende eigenschappen worden gecombineerd bij de ontwikkeling van nieuwe ggo-gewassen. We spreken dan van 'stacking' (stapelen) van genetische modificaties.

III. GGO-GEWASSEN IN EUROPA EN IN VLAANDEREN

Van de 28 landen in de wereld waar in 2012 ggo-gewassen werden geteeld, bevinden er zich vijf in Europa: Spanje, Portugal, Tsjechië, Roemenië en Slovakije (tabel 1). Het gaat hier steeds om Bt-maïs en de totale oppervlakte bedraagt minder dan 0,12 miljoen ha, nauwelijks 0,24% van het wereldwijde ggo-areaal. Hoewel de EU voor een vrij uitgebreide lijst van gewassen het licht al op groen heeft gezet voor import en commerciële toepassing in voedsel en voeders (hoofdzakelijk gewassen met herbicidentolerantie en insectenresistentie[12]), mochten de meeste hier tot op heden niet worden verbouwd. In de EU mogen momenteel in principe twee ggo-gewassen effectief worden geteeld: Bt-maïs (MON810) en de Amflora-aardappel van BASF voor industriële zetmeelproductie (niet voor voeding). Hoewel even geteeld in Zweden en Duistland, is deze ggo-aardappel niet meer commercieel beschikbaar. Voor zover bekend, werden tot 2013 echter, met uitzondering van de beperkte veldproeven van populieren, aardappelen en maïs, geen van deze gewassen effectief verbouwd in Vlaanderen, wellicht ook omwille van een strenge veiligheidswetgeving die het telen

[11] http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp.
[12] http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm.

van ggo-gewassen in Vlaanderen in de praktijk quasi onmogelijk maakt (zie 4 B. De wetgeving in België en Vlaanderen, p. 39).

IV. GGO-IMPORT

De ggo-import is hoofdzakelijk bestemd voor dierlijke consumptie. In de EU-27 (ondertussen EU-28) werd in 2011 ongeveer 470 miljoen ton diervoeder verbruikt. Het merendeel daarvan werd geteeld op de boerderijen zelf in de vorm van hooi, graan of andere gewassen; ongeveer 150 miljoen ton diervoeder werd geproduceerd door Europese diervoederfabrikanten (wat een waarde vertegenwoordigt van € 44,5 miljard). Volgens de European Feed Manufacturers' Association (FEFAC) werd toen echter ten minste 85% van de industrieel geproduceerde diervoeders in de EU gelabeld als ggo of ggo-bevattend. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat de EU zelf niet voldoende (eiwitrijke) soja en maïs produceert, zodat dit ingevoerd wordt uit landen zoals Argentinië, Brazilië en de VS, waar het overgrote deel van de geteelde soja (tot 99% in Argentinië) transgeen is. Consistente data over ggo-import in Europa zijn moeilijker te vinden, deels omdat afgeleide (DNA/eiwitvrije) producten (zoals olie) niet altijd in rekening worden gebracht, maar er circuleren cijfers van 35 miljoen ton soja (13 miljoen ton sojabonen; 22 miljoen ton sojameel), 2,5 miljoen ton maïs en 2,5 miljoen ton koolzaad (allen voor dierlijke consumptie) met daarnaast ook bijvoorbeeld 0,1 ton ggo-katoen.[13]

V. WAT BRENGT DE (DIRECTE) TOEKOMST?

Genetische modificatie is in de eerste plaats cruciaal voor fundamenteel onderzoek en de nieuwste technologieën zorgen voor een gigantische vooruitgang in ons begrip van de levende wereld. Nieuwe inzichten verkregen met gentechnologisch onderzoek kunnen niet alleen in grote mate bijdragen aan niet-manipulerende technieken zoals merker-geassisteerde selectie van gewassen of het gericht zoeken in (geïnduceerde) mutantencollecties; een beter begrip van de fysiologie en werking van levende organismen maakt naast een veel gerichtere en dus efficiëntere selectie (of in de medische sector: diagnostiek en behandeling) ook een slimmere modificatie mogelijk van al aanwezige natuurlijke (bijvoorbeeld verdedigings-) mechanismen. Nieuwe inzichten in de complexiteit van genomen en ecologische relaties zal ons ook in staat stellen om de gevolgen van een dergelijk ingrijpen beter te kunnen inschatten en risico's tot een minimum te herleiden.

De volgende, tweedegeneratie-ggo-gewassen zal door nieuwe toepassingen en technologieën nuttiger en veiliger zijn. Hoewel de producenten (landbouwers) en dus landbouwkundige toepassingen een belangrijke markt voor ggo's zullen blijven (uitgebreid met slimmere technieken en bijvoorbeeld toepassingen voor een betere verwerking van de producten), zien we ook een verschuiving naar toepassingen die meer relevant zijn voor voedselproductie en dus ook voor de voedselzekerheid in gebieden met minder performante landbouwarealen in een onvoorspelbaar veranderend klimaat, zoals verhoogde biotische en abiotische stresstolerantie (bijvoorbeeld droogte, hitte, koude, zoutstress) of efficiënter water- en nutriëntgebruik.

Daarnaast zullen ook eerder consumentgerichte toepassingen op de markt komen, niet enkel om het comfort te verhogen (zoals bij de 'Arctic' appels die niet langer bruin uitslaan na het versnijden

[13] Cijfers: www.europabio.org.

omwille van de lage polyfenoloxidaseniveaus; een eigenschap uit wilde varianten), maar ook en vooral met een verhoogde voedingswaarde (zoals biofortificatie, denk aan de gouden rijst), ook in minder commerciële teelten met grote lokale impact, zoals maniok of banaan (waarvoor ook de ziekteresistentie wordt verhoogd). Het combineren (*stacken*) van verschillende eigenschappen is hierbij een courante aanpak geworden.

De huidige commerciële ggo-gewassen zijn echter geproduceerd met relatief 'rudimentaire' technieken waarbij transgenen vaak op een willekeurige (maar wel nauwkeurig te bepalen) plaats in het genoom terechtkomen. De recente ontwikkeling van *genome editing*-technieken (zie voetnoot 7, p. 25) laat nu echter toe om de genetische informatie op zeer specifieke plaatsen te modificeren door (punt)mutatie, deletie of insertie van DNA-sequenties. Op die manier kunnen transgenen niet enkel zeer precies worden geplaatst (met een optimale expressie en minimale kans op ongewenste verstoring van het genoom), ook de plant-eigen genen kunnen precies worden gemodificeerd om zo hun functies te optimaliseren of nieuwe eigenschappen te produceren. In plaats van vreemde genen uit andere organismen over te brengen, wat op heel wat principiële zowel als praktische bezwaren stoot (denk aan de mogelijke effecten van een kwantumsprong in *fitness* en de gevaren voor introgressie en invasiviteit; zie 7. Milieu-impact van ggo's, p. 45), kan ook een slimmere aanpak gebruikt worden, waarbij bijvoorbeeld de natuurlijke verdedigingsmechanismen van de plant worden versterkt op een manier die in principe ook door natuurlijke evolutie en selectie zou kunnen worden geproduceerd. Dit biedt nieuwe perspectieven en komt tegemoet aan een heel aantal bezwaren tegen het gebruik van genetische modificatie.

4. TEELT EN VERMARKTING - WETGEVING EN BESLUITVORMING

A. DE WETGEVING IN EUROPA

Het telen en op de markt brengen van ggo's is in de EU onderhevig aan een uitgebreide wetgeving en zeer complexe besluitvorming. We leven echter niet in isolement en onze economie en regelgeving worden sterk beïnvloed door mondiale ontwikkelingen, waarin met name voor ggo's de wetgeving in de VS een belangrijke rol speelt. Als ggo-voedsel en -diervoeder goedkoper is dan producten van de conventionele landbouw, geeft dit een belangrijk concurrentieel voordeel aan boeren en producenten in landen die onder een liberaler regime leven wat betreft ggo-regelgeving en op grotere arealen produceren. Dat is op dit moment bij uitstek het geval in de VS (eenzelfde logica geldt voor landen uit Zuid-Amerika en sterk opkomende BRICS-landen zoals China), waar omgekeerd het restrictievere beleid van de EU wordt gezien als afscherming van de markt en dus als ongeoorloofde handelsbescherming. Ongeacht of dit werkelijk zo is, blijft het een feit dat de wetgeving in de VS relevant is voor ons, en omgekeerd. Het is daarom goed de verschillen en overeenkomsten tussen beide aan te geven. Historisch gezien zijn de VS altijd strenger geweest dan Europa op het gebied van voedselwetgeving. Terwijl in de jaren zeventig in de Europese landen de regulerende instanties nauw samenwerkten met de industrie zonder veel openheid naar de consument, werd in de VS in open procedures (waarin ook ngo's een rol speelden) het zogenaamde voorzorgsprincipe toegepast, waarbij een uitgebreide risicoanalyse voor toelating van eender welk nieuw product vereist is. Dit principe wordt ingeroepen als er potentieel gevaarlijke effecten zijn

geïdentificeerd van een bepaald product (of proces), maar er onvoldoende wetenschappelijke zekerheid is voor een juiste risico-inschatting.[14]

Sindsdien heeft er een rolwisseling plaatsgevonden tussen de EU en de VS, althans voor bepaalde aspecten. In de VS zijn de regels voor toelating in het algemeen versoepeld naar de Europese normen uit de jaren zeventig en gebaseerd op de bestaande algemene voedsel- en milieuwetgeving, waarbij de nadruk ligt op het aantonen van de afwezigheid van schadelijke of toxische effecten. Het voorzorgsprincipe is wel gehandhaafd voor bijvoorbeeld potentiële chemische carcinogenen. Ggo's worden er echter niet anders behandeld dan producten van een willekeurige andere productietechniek; het productieproces zelf wordt dus niet in rekening genomen. De EU heeft een omgekeerde weg afgelegd, sterk onder invloed van voedselschandalen zoals de BSE-crisis (*boviene spongiforme encefalopathie*, de 'gekkekoeienziekte') in de jaren negentig. Het gebrek aan openheid van overheden heeft toen geleid tot een groot wantrouwen ten opzichte van de regulerende instanties. Opmerkelijk genoeg (vooral gezien vanuit de VS) worden in de EU potentiële carcinogenen niet anders dan andere risicovolle stoffen gezien, maar juist voor ggo's werden op basis van het voorzorgsprincipe zeer strikte regels ingevoerd. Een essentieel verschil is dus dat de VS-wetgeving zich bezighoudt met productveiligheid (men spreekt van 'substantial equivalence' of 'wezenlijke gelijkwaardigheid' met door langduring gebruik algemeen als veilig erkende (*generally recognised as safe* of GRAS) niet-ggo-gewassen), terwijl de EU een aparte ggo-regelgeving heeft die ook gebaseerd is op de gebruikte processen en technologieën waarmee het product tot stand gekomen is. Het is echter niet helemaal correct te stellen dat een andere mentaliteit aan de basis ligt van deze verschillen; correcter is te zeggen dat de VS *op dit ogenblik* op het gebied van voedselveiligheid een (deels) andere opvatting hebben dan de EU. Deze houding van de Amerikaanse consument en politiek heeft mogelijk ook te maken met het relatieve uitblijven van grote voedselschandalen in de VS in de afgelopen decennia. Dit wordt ook weerspiegeld in het grote percentage (ca. 90%) van de Amerikaanse consumenten die (op dit ogenblik) beweren vertrouwen te hebben in regulerende instanties zoals de United States Drug Administration (USDA), terwijl in Europa het wantrouwen overheerst.

De druk van consument, specifieke drukkingsgroepen en politiek heeft in de EU na jaren van discussie uiteindelijk geleid tot het invoeren van een aantal specifieke wettelijke regels voor de teelt en het gebruik van ggo's. De twee principes waarop deze regels (volgens de EU zelf) rusten, zijn (1) strikte standaarden voor veiligheid, en (2) keuzevrijheid voor consument, boer en producent. In grote lijnen houdt dit ten eerste in dat ggo's (en producten daarvan) even veilig moeten zijn als de conventionele variant, en dat ze geen bedreiging mogen vormen voor de gezondheid van mens en dier of voor het milieu. Ten tweede wordt de keuzevrijheid voor consumenten, boeren en producenten gewaarborgd door het verplicht stellen van een duidelijke etikettering of labeling: op elk product waarin ggo's verwerkt zijn moet dit expliciet vermeld worden. Omdat ggo-producten niet altijd eenvoudig als zodanig herkenbaar of detecteerbaar zijn, vereist dit ook dat de herkomst nauwgezet moet kunnen worden bijgehouden doorheen de hele productieketen (traceerbaarheid), bijvoorbeeld door middel van moleculair genetische technieken zoals PCR. Dit is dus niet vereist in de VS en – los van de wenselijkheid – in ontwikkelingslanden met beperkte infrastructuur ook niet altijd technisch haalbaar. In de praktijk komt dit erop neer dat een ggo(-product) voordat het op de EU markt kan worden gebracht eerst door een langdurig proces van toelating moet dat vastgelegd is in

[14] http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2000:0001:FIN:nl:PDF.

EU-regelgeving. Bovendien wordt elk nieuw ggo als een apart geval behandeld dat de gehele procedure moet doorlopen. Hoewel de wetgeving in feite over alle ggo's gaat, is zij op dit moment praktisch vooral relevant voor planten.

Labeling en de 0,9%- (en 0,1%-)regel

Alle ggo-ingrediënten in voeding moeten binnen Europa ook als dusdanig worden aangegeven op de verpakking. Dit geldt echter alleen voor ingrediënten die voor meer dan 0,9% genetisch gemodificeerd materiaal bevatten. De reden hiervoor is dat bij de teelt, oogst, verwerking, het transport en de opslag van agrarische bulkproducten ladingen van verschillende herkomst elkaar opvolgen en onbedoelde vermenging of contaminatie moeilijk totaal te vermijden is tenzij de voedselketens volledig ontdubbeld zouden worden. Deze regel geldt echter alleen voor toegelaten ggo's, dus ggo's die een toelating hebben om geproduceerd of geïmporteerd en geconsumeerd te worden in de EU. Voor de niet-toegelaten ggo's geldt een nultolerantie; die mogen helemaal niet in een product aanwezig zijn. De voedselinspectie kan echter ook een fabrikant verplichten tot etikettering bij minder dan 0,9% ggo-materiaal in de ingrediënten wanneer hij geen aantoonbare maatregelen heeft genomen om vermenging te voorkomen. Sinds april 2004 is labeling ook verplicht voor diervoeders.

Aangezien buiten Europa de goedkeuring van nieuwe gewassen doorgaans gevoelig sneller verloopt (vaak binnen het jaar in de VS, tegenover al gauw 2 jaar in de EU) ontstaat een vervelende asynchronie voor de ggo-import. Dit wordt (sinds 2010) voorlopig door de EU opgevangen door het toelaten van 0,1% niet-geautoriseerd ggo-materiaal op voorwaarde dat reeds een aantal stappen zijn ondernomen zoals het indienen van een dossier bij het European Food Safety Agency (EFSA) en goedkeuring door tenminste één autoriteit voor voedselveiligheid in een ander, niet-EU land. Deze moeilijk houdbare technische oplossing geldt echter niet voor de import van producten voor menselijke consumptie; daar blijft de nultolerantie absoluut gehandhaafd.

De huidige regelgeving in de EU aangaande ggo's bestaat uit twee luiken.[15] Het eerste betreft het gebruik van ggo-planten, het tweede uit ggo's gemaakt voedsel en diervoeder. Onder het eerste luik (Richtlijn of Directive 2001/18) valt dan het in de EU verbouwen en importeren van planten, inclusief het importeren van zaden omdat deze het potentieel hebben om uit te groeien tot planten. Afgeleide producten zoals ggo-maïsmeel of -oliën, die geen levende organismen bevatten, vereisen toelating onder het tweede luik (Regulation 1829/2003) dat voedsel en diervoeder betreft. Als een bedrijf dus een nieuw ggo-gewas in de EU op de markt wil brengen, zijn in principe twee toelatingen nodig (sinds kort bestaat de mogelijkheid om dit in één enkele aanvraag te doen), maar niet als de gewassen buiten de EU worden verbouwd en slechts de producten ervan worden ingevoerd.

Het proces van toelating wordt uitgevoerd door de EU, en de uiteindelijke beslissing geldt voor alle EU-lidstaten. De procedure verloopt in een aantal fasen. In fase 1 moet de aanvraag voor de toelating van ggo-materiaal in voedsel of diervoeder door het bedrijf zelf worden ingediend bij de autoriteiten in een EU–lidstaat, met een dossier dat de volgende documenten moet bevatten:

[15] We focussen hier op de meest relevante aspecten van de wetgeving rond genetische modificatie. De volledige wetgeving op EU-niveau is terug te vinden onder regelgeving rond (1) Contained use of genetically modified micro-organisms (GMMs), (2) Deliberate release of genetically modified organisms (GMOs), (3) Transboundary movement of genetically modified organisms, (4) Novel foods and food ingredients, (5) Traceability and labelling of GMOs en (6) Food and Feed (GMO).

1. Studies die aantonen dat het ggo-gewas veilig is voor mens, dier en milieu.
2. Analyses die de (nutritionele) gelijkwaardigheid van het ggo-gewas ten opzichte van 'conventionele' planten aantonen.
3. Een beschrijving van de methoden om het ggo-karakter aan te tonen en teststalen van het ggo-materiaal.
4. Voorstellen voor labeling.
5. Een samenvatting van de aanvraag.
6. Optioneel: post-market monitoring.

Dit dossier wordt naar het EFSA (European Food Safety Agency) doorgestuurd, dat alle EU-lidstaten op de hoogte brengt en inzage geeft in het dossier. Het EFSA publiceert alleen de samenvatting. Vervolgens (fase 2) heeft het EFSA 6 maanden de tijd om tot een advies (*opinion*) te komen, maar dit kan ook langer zijn als aanvullende informatie nodig blijkt. Bij de evaluatie maakt het EFSA gebruik van panels van onafhankelijke experten afkomstig uit alle lidstaten. Verder laat het EFSA de voorgestelde detectiemethode evalueren door het EU-referentielaboratorium (European Union Reference Laboratory for GM Food and Feed). Als het product onder Directive 2001/18 (verbouwen en importeren van levend materiaal) valt, moeten ook de lidstaten bijkomend geconsulteerd worden (in België: de Adviesraad voor Bioveiligheid (ARB) van de federale overheid in nauwe samenwerking met de Dienst Bioveiligheid en Biotechnologie (SBB) van het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid (WIV-ISP); volgens het samenwerkingsakkoord van april 1997 tussen de federale staat en de gewesten). Het EFSA-advies bevat een wetenschappelijke risicoanalyse, een voorstel voor labeling, eventuele aanbevelingen voor beperkingen en voorwaarden (zoals ten aanzien van post-market monitoring), de goedgekeurde detectiemethoden (zie de publieke databank voor referentiemethoden ontwikkeld door het referentielaboratorium in samenwerking met het ENGL (European Network of GMO Laboratories)[16]), en indien van toepassing ook een milieu-monitoring plan voor de ggo-planten. Het EFSA dient het advies in bij de Europese Commissie (EC) en bij de lidstaten. Bovendien wordt het hele advies gepubliceerd, behalve die delen die bedrijfsgevoelige informatie bevatten.[17]

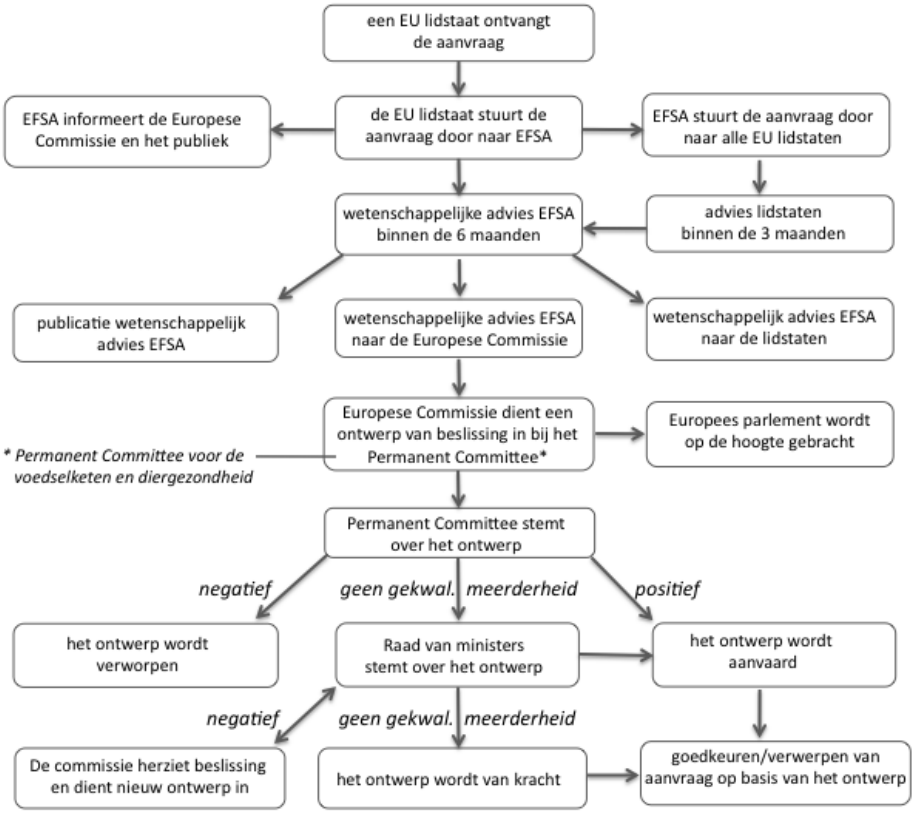
In fase 3 heeft de EC 3 maanden de tijd om een ontwerp van beslissing te formuleren. Als de EC daarin afwijkt van het EFSA-advies, dient ze dat schriftelijk te onderbouwen. Vervolgens doorloopt het ontwerp de procedures zoals vastgelegd voor alle (dus niet alleen ggo-betreffende) EU-regelgeving. De EC legt het ontwerp voor aan de Permanente Commissie voor de Voedselketen en Diergezondheid. Deze bestaat uit vertegenwoordigers van alle lidstaten. Goedkeuring of afwijzing gebeurt op basis van een zogenaamde 'gekwalificeerde meerderheid'.[18] Als er geen meerderheid wordt bereikt, of als de Permanente Commissie het oneens is met het ontwerp, brengt de EC de zaak voor de Europese Ministerraad en informeert het het Europese Parlement. De Europese Ministerraad heeft 90 dagen om tot een beslissing te komen, ook op basis van een gekwalificeerde meerderheid. Bij afwijzing moet de EC het ontwerp wijzigen, bij goedkeuring of het niet bereiken van de meerderheid tegen het voorstel wordt het ontwerp van kracht. De toelating geldt voor een periode van tien jaar (waarna de toelating moet worden geëvalueerd en vernieuwd), en alle goedgekeurde ggo's worden deel van een openbaar register (zie hoger). De tot nu toe in de EU goedgekeurde ggo's zijn dit niet op basis van een gekwalificeerde meerderheid voor, maar alleen op basis van de

[16] http://gmo-crl.jrc.ec.europa.eu/gmomethods/.

[17] Voor een gedetailleerd overzicht van dit deel van de procedure: http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2311.htm. Tegen februari 2014 wordt deze wel aangepast volgens Commission Implementing Regulation (EC) 503/2013.

[18] 'Gekwalificeerde meerderheid': http://europa.eu/legislation_summaries/glossary/qualified_majority_nl.htm.

afwezigheid van een meerderheid tegen.[19] Zie figuur 11 voor een schematische weergave van het beslissingstraject.



Figuur 11. Beslissingstraject voor de goedkeuring van ggo-voedsel- en voedertoepassingen.

De lange en complexe EU-procedure maakt die ook erg duur. Dit heeft verregaande gevolgen voor de aanvrager (de kostprijs is enkel te dragen door grote, kapitaalkrachtige bedrijven) en dus ook voor de boer en de consument (aangezien deze aanzienlijke kosten moeten worden terugverdiend), maar ook voor landen die naar de EU exporteren.

Goedkeuring op Europees niveau moet dan verder door de individuele lidstaten omgezet worden via bijkomende regelgeving/toepassingsvoorwaarden. Deze regels kunnen van land tot land en per toepassing verschillen.[20]

[19] Volgend op jarenlange onenigheid en een recente uitspraak van het Europees Hof naar aanleiding van een klacht van Pioneer wordt binnenkort (december 2013, 12 jaar na de aanvraag) door de raad van milieuministers gestemd over de toelating in voedsel en voeder (niet de teelt) van de TC1507-maïs, die insectenresistentie en herbicidentolerantie combineert.

[20] Veldproeven worden niet gereglementeerd of gecontroleerd op Europees niveau, maar vereisen, op basis van een advies van de ARB (waarbij gelijkaardige procedures en criteria worden gebruikt als voor toelating op de Europese markt), eventueel met bijkomende voorwaarden (cfr. het dossier van de aardappelproef), goedkeuring van de federale overheidsdienst voor volksgezondheid en van de regionale diensten voor milieu en landbouw.

B. DE WETGEVING IN BELGIË EN VLAANDEREN

Wanneer een ggo-toepassing op basis van een risicoanalyse (EFSA) en na een positieve beslissing (ook op basis van het advies van nationale organen) door de Europese Commissie is goedgekeurd, moeten de modaliteiten voor de teelt door de individuele lidstaten bepaald worden. Iedere lidstaat kan dus binnen de Europese regelgeving eigen modaliteiten opleggen die verschillen van die van een andere lidstaat. Sommige lidstaten zijn ook sneller dan andere om de Europese toelating in nationale regels om te zetten. Deze modaliteiten hebben vooral betrekking op het garanderen van de keuzevrijheid en voor de teelt betekent dit het garanderen van de co-existentie van conventionele, biologische en ggo-teelten, zodat deze laatste geen hypotheek leggen op de andere. In België is het opleggen van deze modaliteiten een gewestbevoegdheid en de algemene principes zijn vastgelegd in een decreet van het Vlaams Parlement van 3 april 2009 en een besluit van de Vlaamse Regering van 15 oktober 2010 dat de algemene maatregelen voor de organisatie van de co-existentie bepaalt. Ten slotte is er per (door de EU) toegelaten gewas (zoals maïs en aardappel) een afzonderlijk besluit van de Vlaamse Regering nodig. Nieuwe toepassingen met dezelfde gewassen vergen echter geen nieuw besluit van de Vlaamse Regering.

Eventuele geschillen moeten beoordeeld worden door een commissie aangeduid door de Vlaamse overheid (Besluit Vlaamse Regering 6 mei 2011). De Vlaamse overheid heeft een website over deze regelgeving en de problematiek die met de teelt van toegelaten ggo's gepaard gaat.[21] Zoals hoger vermeld, zijn op dit ogenblik in Vlaanderen drie ggo-gewassen voor teelt toegelaten, maar voor zover bekend tot 2013 nog nooit verbouwd. Een belangrijk aspect in de co-existentiewetgeving is de afstandsregel om contaminatie door verspreiding van pollen met kruisbestuiving van niet-ggo-gewassen (= maximaal 0,9% ggo op basis van een *random* staal van het veld) te vermijden. De afstandsregels zijn afhankelijk van de voorplantingswijze van het gewas en verschillen daarnaast vreemd genoeg van land tot land, wat wijst op verschillende (niet-wetenschappelijke) criteria en motivaties. Voor elk ggo-gewas gelden zo andere omslachtige procedures (bijvoorbeeld voor maïs[22]) waardoor de co-existentieregeling vaak neerkomt op een *de facto* verbod van de teelt.

Onze EU-wetgeving focust duidelijk op gezondheid, milieu en keuzevrijheid als wettelijk beschermde eindpunten (en bepaalt zo ook welke processen moeten worden gecontroleerd), hoewel via de co-existentieregelgeving nu ook tot op zekere hoogte mogelijke socio-economische nadelen of kosten (bij ggo-contaminatie) in rekening worden gebracht. Het is interessant op te merken dat in Noorwegen (dat niet gebonden is door de EU-wetgeving) de Norwegian Gene Technology Act stelt dat de introductie van ggo's een duidelijk voordeel moet bieden voor de gemeenschap en moet bijdragen aan duurzame ontwikkeling (waarbij gezondheid en milieu zowel in het land van teelt en productie, soms een ontwikkelingsland, als in het land van consumptie in rekening worden gebracht).[23] Het is een belangrijke vraag of mogelijke socio-economische voordelen (afgewogen tegen mogelijke nadelen of risico's) en politieke en morele waarden mee in overweging moeten worden genomen bij de evaluatie van nieuwe gewassen.

[21] http://lv.vlaanderen.be/nlapps/docs/default.asp?id=2504.

[22] http://lv.vlaanderen.be/nlapps/data/docattachments/PB_20111118_Vademecum_Opleiding_Co_existentie_def.pdf.

[23] Myhr en Rosendal 2009.

Hoewel vermoedelijk lokaal-politieke (zoals bijvoorbeeld de bescherming van de lokale landbouw) of ethisch/religieuze redenen voor een lokale ban officieel niet door de EC werden geaccepteerd, wordt in een poging tot compromis wel meer vrijheid gecreëerd op lidstaatniveau door de voorgestelde aanpassing (*amendement*) van Richtlijn 2001/18/EC met Art.26(b).[24] Er bestaat daarnaast binnen Europa ook een sterke, steeds beter georganiseerde dynamiek van ggo-vrije regio's.[25]

C. REGULERING VAN DE NIEUWE TECHNOLOGIEËN

Specifieke toepassingen zoals cisgenese, waarbij een gen van eenzelfde of verwante (interfertiele) soort wordt ingebouwd, en vooral de nieuwste genetische technologieën waarbij het eindproduct in principe niet te onderscheiden valt van natuurlijk voorkomende varianten, stellen de wetgeving voor een nieuwe uitdaging. Of dergelijke producten al dan niet als ggo zullen worden behandeld, is op dit ogenblik het onderwerp van een discussie waarvan de uitkomst zeer belangrijke implicaties zal hebben.

5. INTELLECTUELE EIGENDOM EN OCTROOIRECHT

Niet alleen het op de markt brengen, maar ook het ontwikkelen van genetisch gemodificeerde planten is een tijdrovende en kostbare onderneming. De roep om bescherming met intellectuele eigendomsrechten, in het bijzonder octrooien, is dan ook nooit ver weg. Het octrooirecht is ingevoerd vanuit de gedachte dat investeringen, uitvindingen en innovaties niet zullen worden gedaan zonder het vooruitzicht van een exclusief gebruiksrecht. Een dergelijk alleenrecht functioneert dus als een stimulans om uitvindingen te creëren (*incentive to invent and innovate*).

Het merendeel van de ggo's op de markt wordt inderdaad beschermd door octrooien, maar een aantal opvallende uitzonderingen, ontwikkeld in samenwerking met universiteiten of niet-commerciële onderzoeksinstellingen, wordt vrij van octrooi of met gratis licenties ter beschikking gesteld van de gemeenschap. Een mooi voorbeeld daarvan is de gouden rijst met verhoogde provitamine A-gehaltes.[26]

Octrooien verlenen bescherming aan uitvindingen. Het begrip 'uitvinding' wordt in de octrooiwetten echter niet eenduidig gedefinieerd en het was lange tijd onduidelijk of (genetisch gemodificeerde) planten ook voor octrooibescherming in aanmerking komen. Een richtlijn van het Europees Parlement uit 1998 veegt het aloude idee dat octrooirecht gesneden is op maat van 'dode techniek' van tafel en stelt expliciet dat levend materiaal principieel octrooieerbaar is, inclusief transgene planten (op voorwaarde dat de uitvoerbaarheid van de betreffende uitvinding zich technisch gezien niet beperkt tot een bepaald plantenras), ggo-kenmerken, geïsoleerde plantkenmerken (zogenaamde plant *traits*) en nieuwe transformatietechnieken. Werkwijzen van wezenlijk biologische aard voor de voortbrenging van planten, zoals kruising en selectie, worden daarentegen van octrooibescherming uitgesloten.

[24] http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/docs/proposal_en.pdf.
[25] http://www.gmo-free-regions.org/gmo-free-regions.html.
[26] http://www.goldenrice.org/.

Uitvindingen kunnen worden beschermd met een octrooi indien aan een reeks bijzondere voorwaarden is voldaan, met name de voorwaarden van nieuwheid, uitvinderswerkzaamheid en industriële toepasbaarheid. Deze voorwaarden gelden ongeacht het type octrooi dat men aanvraagt:

- Een uitvinding is nieuw als ze nog niet tot de huidige stand van de techniek (de zogenaamde 'prior art') behoort. De nieuwheidseis vormt voor ggo's doorgaans geen bijzonder probleem.

- Een uitvinding getuigt van uitvinderswerkzaamheid indien ze voor een deskundige niet op een voor de hand liggende wijze voortvloeit uit de stand van de techniek. Ook dat is doorgaans geen onoverkomelijke hindernis voor ggo's. Er is wel discussie over de vraag of het isoleren en karakteriseren van nieuwe genetische eigenschappen die in planten aanwezig zijn (zogenaamde 'native' plant *traits*) wel voldoen aan het criterium van inventiviteit, zeker wanneer daarbij gebruik wordt gemaakt van technieken die inmiddels 'state of the art' geworden zijn.

- Een uitvinding is industrieel toepasbaar als het onderwerp daarvan kan worden vervaardigd of toegepast op enig gebied van de nijverheid, inclusief de landbouw. Ook deze eis vormt in het algemeen bij ggo's geen grotere hindernis dan bij andere uitvindingen.

Octrooibescherming wordt niet automatisch verleend en moet worden aangevraagd. Hierbij kan men kiezen voor een Belgisch octrooi, wanneer men slechts bescherming wil voor het Belgisch grondgebied. Men kan ook opteren voor een Europees octrooi, wanneer men in meerdere (maximum 38) Europese landen bescherming wenst. Sinds kort kan men ook kiezen voor een Europees octrooi met eenheidswerking, dat bedoeld is als een octrooi dat – in principe[27] – geldt in alle 28 EU-lidstaten. Afhankelijk van de keuze die wordt gemaakt, moet ook een andere procedure worden gevolgd.

Een octrooi verleent de titularis dan een tijdelijk (meestal twintig jaar) en territoriaal beperkt recht om iedere derde die niet zijn toestemming hiertoe heeft verkregen, de exploitatie van de uitvinding te verbieden. Octrooien houden dus het recht in om anderen ervan te weerhouden de uitvinding na te maken.

Een octrooihouder kan licenties aanbieden aan andere (ook kleinere) zaadfirma's om bijvoorbeeld bepaalde *traits* door kruising in andere varianten te introduceren. Dergelijke licenties worden telkens individueel onderhandeld. Details van deze licenties zijn meestal niet bekend: licentiebeleid is vaak een van de beter bewaarde geheimen in de industrie.[28]

Voor de juridische bescherming van via klassieke veredeling verkregen nieuwe plantenrassen, staat van oudsher het kwekersrecht open. Het kwekersrecht geeft de ontwikkelaar van een nieuw ras het recht om anderen te verbieden teeltmateriaal van het beschermde ras te commercialiseren. Een kwekersrechthouder kan evenwel niet optreden tegen anderen die het beschermde ras gebruiken als uitgangsmateriaal voor het tot ontwikkeling brengen van nieuwe rassen. Deze zogenaamde kwekersvrijstelling zorgt er dus voor dat andere veredelaars een beschermd ras mogen gebruiken voor hun eigen veredelingsprogramma, zodat de beste eigenschappen van deze rassen via het

[27] Italië en Spanje doen (voorlopig) niet mee.

[28] Er zijn ook voorbeelden van ggo's, ontwikkeld in publieke-private samenwerkingen, die wel zijn gepatenteerd maar worden vrijgegeven onder zogenaamde 'humanitarian use licensing', zoals de gouden rijst.

genetische materiaal beschikbaar zijn voor kweekprogramma's. Het octrooirecht kent een dergelijke uitzondering niet.

De concrete impact van octrooien op ggo's baart velen wel een aantal specifieke zorgen:

- Slecht omlijnde octrooien, of zeer brede octrooien, kunnen leiden tot grote onzekerheid bij onderzoekers en bedrijven die in de buurt van het octrooi opereren.

- Sterke octrooiposities en grote octrooiportfolio's kunnen de toegang tot de planten- en zaadsector belemmeren voor nieuwe spelers. De juridische, technische en financiële mogelijkheden om met de complexiteit en de kosten van het octrooisysteem om te gaan geven een groot voordeel aan grotere bedrijven.

- Onvoldoende licenties of te hoge royalties kunnen bedrijven die afhankelijk zijn van gepatenteerde plant *traits* belemmeren in de innovatie en ontwikkeling van nieuwe plantenrassen. De toegankelijkheid en het gebruik van genetische variatie vormt de basis voor de ontwikkeling van nieuwe plantenrassen. Een restrictief licentiebeleid kan een remmend effect hebben op de beschikbaarheid van de genetische variatie voor verdere veredeling.

- Het verbod om zaaigoed van onder octrooi staande gewassen te vermeerderen zonder de toelating van, én het betalen van *royalties* aan, de octrooihouder gaat in tegen de traditie van arme boeren uit het Zuiden, waar het uitwisselen en vermeerderen van zaaizaad een belangrijke manier is om zaaizaadtekorten tegen te gaan en in de teelt van basisvoedselgewassen te voorzien.

In het algemeen is bescherming met intellectuele eigendomsrechten beter ingeburgerd in ontwikkelde landen; dit wordt vaak gereflecteerd in de relatieve kostprijs van ggo-zaden (zie ook 8. Socio-economische impact van ggo's, p. 55). In ontwikkelingslanden (met name in Afrika) is meestal geen octrooibescherming toegelaten op biologisch materiaal. In die landen worden doorgaans wel dezelfde contracten afgesloten, in het kader van bio-veiligheid (het zogenaamde 'stewardship'[29]). Door de sterke positie van de zaadindustrie worden die voorwaarden vaak geaccepteerd in ontwikkelingslanden. Zaadprijzen (of in ieder geval de kosten van de verschuldigde licentie) zijn dan niet noodzakelijk lager.

6. GEZONDHEID: VOEDSEL- EN VOEDERVEILIGHEID

Gezondheid is bij de consument waarschijnlijk één van de belangrijkste aspecten in het debat rond ggo's. Op het gebied van voedsel- en voederveiligheid is er heel wat controverse en heersen er ook nog heel wat misverstanden bij het brede publiek. Het is daarom belangrijk om te benadrukken dat enkele van de vaak gehoorde bezorgdheden van consumenten, zoals mogelijk kankerverwekkende eigenschappen van ggo's, helemaal niet wetenschappelijk onderbouwd zijn. Op zich hebben ggo's geen specifieke eigenschappen die hen per definitie gevaarlijk voor de gezondheid zouden maken. Immers, het enige verschil tussen ggo's en ander voedsel is dat er bij ggo's stukken 'vreemd' DNA (de transgenen) werden ingebracht. Op zich is DNA ook niet toxisch (onze voeding bevat sowieso grote hoeveelheden DNA) en het wordt bovendien tijdens de vertering afgebroken tot de basiscomponenten die voor elke DNA-sequentie hetzelfde zijn. Anderzijds is het in principe wel

[29] Zie bv. http://www.syngentabiotech.com/biostewardship.asp.

mogelijk dat het activeren van (vreemd) DNA met de productie van nieuwe eiwitten leidt tot ongewenste risico's, met als voornaamste voorbeelden mogelijke (1) antibiotica-resistentie, (2) toxische bijeffecten en (3) allergene reacties.

(1) Zo bestaat de vrees dat er overdracht van antibioticaresistentie-merkergenen in ggo's (zie hoger) naar darmbacteriën zou kunnen plaatsvinden. Dit is echter nooit daadwerkelijk aangetoond, en bovendien minder relevant geworden door het gebruik van alternatieve merkergenen en de nieuwe mogelijkheden om merkergenen volledig te verwijderen uit ggo's.
(2) Wat betreft het gevaar voor toxische effecten, worden vaak studies aangehaald waarin transgeen geproduceerd tryptofaan, een aminozuur dat als voedingssupplement in de jaren tachtig werd aangemaakt door het Japanse *Showa Denko Co* met behulp van een genetisch gewijzigde bacterie, geassocieerd werd met een soms fatale neurologische aandoening (het eosinophilie-myalgie syndroom; EMS). Er bestaat echter nog steeds grote controverse over of het toxische effect wel toe te schrijven is aan het ggo-karakter van de stof of eerder (en meer waarschijnlijk) het gevolg was van de gelijktijdige wijzigingen van het productieproces met toxische bijproducten als gevolg.
(3) Om de voedingswaarde van eiwitten in soja te verhogen, ten slotte, werd het gen voor een eiwit uit paranoten (rijk aan het aminozuur methionine) ingebracht waarbij initieel over het hoofd was gezien dat dit eiwit een bekend allergeen is. Het product is nooit op de markt gekomen.

Hoewel er nog geen concrete aanwijzingen zijn van negatieve gezondheidseffecten direct gelinkt aan ggo's, is het duidelijk dat een degelijke beoordeling van biologische en gezondheidsrisico's bij de doelbewuste introductie van ggo's en producten ervan belangrijk is. Bovendien worden biotechnologische toepassingen vaak op zeer grote (niet zelden wereldwijde) schaal en op zeer korte tijd ingevoerd, waardoor mogelijke langetermijneffecten moeilijker in te schatten en te corrigeren zijn. Wereldwijd werden al tal van risicobeoordelingen uitgevoerd voor zowel de doelbewuste introductie van ggo's in het leefmilieu, als hun gebruik als levensmiddel, diervoeder of geneesmiddel. De basis voor die risicobeoordelingen ontwikkelde zich geleidelijk, waarbij telkens gebruik werd gemaakt van de meest recente wetenschappelijke gegevens en technieken, en tegelijkertijd alles steeds in vraag werd gesteld.

Risico's van welke aard ook (waarbij gezondheidsrisico's mogelijk substantieel minder groot zijn dan risico's voor het milieu), moeten ten slotte ook worden beheerst en beheerd, en daarbij speelt betrouwbaarheid een grote rol. Als risicobeheersing bijvoorbeeld afhangt van 'good farming practices', dan is het niet noodzakelijk irrationeel om iets niet toe te laten, aangezien in een reële wereld ook daar fouten niet kunnen worden uitgesloten.

De beoordeling van elk nieuw dossier vertrekt van het principe dat deze beoordeling moet berusten op puur wetenschappelijke, rationele argumenten die voortvloeien uit het onderzoek en de interpretatie van de onderzoeksresultaten (zie het kaderstuk). De expertisedomeinen van de leden van de verschillende adviescommissies dekken de verschillende wetenschappelijke disciplines die aan bod moeten komen bij de verschillende aspecten van bioveiligheid en bijkomend kan beroep worden gedaan op externe experten.

Het inschatten van biologische risico's

De methodologie voor de beoordeling van biologische risico's berust in hoofdzaak op vijf stappen:

1. De karakterisering van het ggo of ggm (eventueel een pathogeen), die rekening houdt met de kenmerken van het gebruikte organisme, van het aangewende genetisch materiaal, van het resulterende ggo/ggm en van de beoogde activiteit.

2. De identificatie van mogelijke negatieve gevolgen (ziekte voor mens of dier, allergische of toxische effecten, overdracht van ingebouwd genetisch materiaal op andere organismen). Tijdens die stap kan een eventueel gevaar aan het licht worden gebracht, waarbij dit begrip 'gevaar' duidelijk van het 'risico' dient te worden onderscheiden.

3. De beoordeling van de blootstelling van de bevolking en/of het leefmilieu aan het betreffende ggo/ggm en de gevolgen van de mogelijke negatieve effecten daarvan.

4. De beoordeling van de waarschijnlijkheid waarmee elk mogelijk negatief effect zich voordoet.

5. De karakterisering van het risico, die eventueel tot risicobeheersmaatregelen leidt.

Het is hierbij nuttig om de verschillende types van risico te onderkennen. Dit geldt dan in het bijzonder voor de dikwijls aangehaalde mogelijke langetermijneffecten van ggo's op de menselijke gezondheid. Zo onderscheidt men (1) risico's met een empirische basis (waarmee men concrete ervaring heeft), die dan ook berekenbaar zijn, (2) hypothetische (theoretische) risico's, waarvoor geen concrete data beschikbaar zijn (waardoor berekening onmogelijk is) en (3) speculatieve risico's, waarvoor ook geen theoretische basis bestaat. Onvoorziene gevolgen van een ingreep zijn uiteraard per definitie niet in te schatten. Daarom is en blijft er naast en na de risicoanalyse ook een verdere continue monitoring nodig bij groen licht, zodat onvoorziene gevolgen kunnen worden gedetecteerd en er gepast met wetenschappelijke onzekerheid kan worden omgegaan. Geen enkel risico kan voor de eeuwigheid worden uitgesloten en dit geldt voor elke menselijke activiteit. Men moet met andere woorden omzichtig te werk gaan met het voorzorgsprincipe, terwijl anderzijds toch alle (rationele) risico's op wetenschappelijk verantwoorde wijze moeten worden nagegaan.

Er worden standaard toxiciteits- en allergeniciteitstesten uitgevoerd op elk nieuw ggo-product. Tot nog toe werden noch in deze testen, noch in goed onderbouwde klinische of epidemiologische studies concrete aanwijzingen gevonden voor directe nadelige effecten van op de markt gebrachte ggo's op de menselijke gezondheid. De enkele studies die wel effecten rapporteren, kenden veel kritiek omwille van hun ondermaatse opzet.[30] Bovendien wordt erover gewaakt dat 'nieuwe' transgene eiwitten gevoelig zijn voor hitte (voedselverwerking/-bereiding) en darmvertering, waardoor hun impact automatisch wordt verkleind. Er wordt ook over gewaakt dat de transgene eiwitten geen structurele gelijkenissen vertonen met eiwitten die allergieën uitlokken. Dit laatste is uiteraard niet helemaal sluitend, omdat niet exact bekend is wat de allergeniciteit van eiwitten juist veroorzaakt en dit bovendien zeer individueel bepaald is (cfr. allergieën voor pinda's, sojabonen of kiwi's, maar ook voor bijvoorbeeld tarwebrood, melk of appels). Het is in dit verband wellicht interessant op te merken dat het risico op allergische reactie altijd kan optreden met zowat elk (nieuw) voedingsmiddel. Bovendien biedt genetische modificatie in principe ook de mogelijkheid om in plantaardig voedsel gericht de hoeveelheid natuurlijk voorkomende toxines en allergenen te

[30] Zo verwekte de studie van Séralini et al. (2012) recent heel wat ophef met een analyse van de gezondheidseffecten van genetisch gemodificeerde herbicidentolerante maïs (NK603 van Monsanto). Er is echter brede wetenschappelijke consensus dat deze studie door ernstige defecten in opzet en methodologie niet voldoet aan de wetenschappelijke standaard (zoals bijvoorbeeld kort uiteengezet in Grunewald and Bury, 2013 of Robert et al., 2013) en het EFSA concludeerde na onderzoek dat er geen enkele reden is om vroegere evaluaties te herzien. (http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2986.htm).

reduceren. Toch blijft een continue monitoring nodig en er wordt voortdurend volgens de nieuwste wetenschappelijke inzichten gesleuteld aan de methoden om het testen van toxiciteit en allergeniciteit nog meer sluitend te maken. Testen worden niet alleen met de opgezuiverde eiwitten uitgevoerd, maar ook met het volledige ggo-voedsel, -voeder of -gewas. Ook de gelijkheid in samenstelling van ggo-producten met hun conventionele niet-ggo-tegenhanger wordt grondig nagegaan, waarbij uiteraard wel een extra DNA-fragment aanwezig kan zijn in het ggo-voedsel of -voeder. Tot nu toe waren er echter geen aanwijzingen dat het genetische materiaal het verteringskanaal intact (met functionele genen) overleeft of opgenomen kan worden in het lichaam. Recent werd echter wel gerapporteerd dat miRNA-moleculen uit planten (die aanleiding geven tot RNA-interferentie; zie hoger) de darmvertering kunnen weerstaan, in de bloedstroom terecht komen, en (zoals getest bij muizen) ook effectief de genexpressie kunnen beïnvloeden (Zhang et al. 2011; Hirschi 2012). Hoewel dit niet noodzakelijkerwijs iets zegt over het DNA van ggo's (alle 'natuurlijke' gewassen en dierlijke organismen produceren immers dergelijke microRNA's en ook deze komen dus in onze bloedstroom terecht) en deze studies nog controversieel zijn (Dickinson et al. 2013; Chen et al. 2013), zal dit in de discussie en risicoanalyse moeten worden meegenomen. Het is zeer belangrijk dit in alle openheid te doen met alle betrokkenen, zodat opnieuw het noodzakelijke vertrouwen kan worden opgebouwd tussen industrie, producent, wetenschap, consumenten en beleidsmakers.

Interessant is misschien om in deze context ook aan te halen dat herbicidentolerante of insectenresistente gewassen een positieve impact kunnen hebben op de gezondheid van de landbouwer en zijn werkkrachten (Huang et al. 2005; Brookes & Barfoot 2012). Zo tonen cijfers dat Chinese boeren die ggo-rijstvariëteiten cultiveren (in uitgebreide tests) minder dan één keer per seizoen pesticiden gebruiken, terwijl boeren die conventionele variëteiten cultiveren gemiddeld 3,7 keer per jaar pesticiden gebruiken. Geen van de boeren die alleen ggo-rijst cultiveren hebben een negatieve impact op hun gezondheid gerelateerd aan pesticidegebruik ondervonden, terwijl boeren die alleen conventionele rijst cultiveren in 2002 en 2003 in respectievelijk 8,3% en 3% van de gevallen een negatieve impact van pesticidengebruik hebben ondervonden (Huang et al. 2005).

7. MILIEU-IMPACT VAN GGO'S

Specifieke ggo toepassingen kunnen indirect effecten hebben op gezondheid, maar vooral de mogelijke directe en indirecte effecten van ggo's op het milieu zelf leiden tot een grote bezorgdheid bij veel mensen. Het is ook wellicht zo dat directe en indirecte effecten op het milieu de grootste en moeilijkst controleerbare potentiele risico's van ggo's inhouden. Voor een complete evaluatie is het dan ook nuttig om de volgende categorieën te onderscheiden (Andow & Zwahlen 2006).

A. MILIEU EN ONRECHTSTREEKSE GEZONDHEIDSRISICO'S

Onrechtstreekse gezondheidsrisico's betreffen een bredere en meer diffuse set aan risico's, die in wezen veroorzaakt worden door de milieueffecten van ggo's, zoals bijvoorbeeld een gewijzigd gebruik van pesticiden, het meer intensief worden van de landbouwmethodes met potentieel negatieve impact op waterkwaliteit, de teloorgang van ecosystemen en de eraan verbonden ecosysteemdiensten. Deze risico's bespreken we dan ook samen met de milieurisico's.

B. RECHTSTREEKSE MILIEU-EFFECTEN

Rechtstreekse milieueffecten betreffen risico's voor de milieukwaliteit en natuurlijke ecosystemen die rechtstreeks veroorzaakt worden door het gebruik van ggo's. De belangrijkste rechtstreekse milieurisico's zijn die van ongewenste invloeden op niet-doelsoorten, de ontwikkeling van invasiviteit bij de ggo's zelf, de aantasting van de natuurlijke diversiteit van verwante taxa via genmigratie, en de ontwikkeling van resistentie bij doelsoorten.

I. EFFECTEN OP NIET-DOELSOORTEN

Het risico op een impact van pesticiden op niet-doelsoorten is niet specifiek eigen aan ggo's, maar een van de belangrijke problemen van het veelvuldig gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen in de conventionele landbouw. Het gaat dan bijvoorbeeld om het verdwijnen van natuurlijke pollinatoren door intensieve landbouw (zie Biesmeijer et al. 2006). Maar daar waar bij conventionele landbouw het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen kan worden aangepast doorheen de tijd, is dat minder mogelijk bij ggo's, die de betrokken stoffen zelf transgeen produceren. Eén van de bekendste studies naar effecten op niet-doelsoorten handelt over de invloed van Bt-toxines op de Monarchvlinder. Zo werd gerapporteerd dat het pollen afkomstig van Bt-maïs geconsumeerd wordt door rupsen van de Monarchvlinder doordat het terechtkomt op de bladeren van de zijdeplant, de waardplant van deze rupsen (Losey et al. 1999). Deze studie werd sterk bekritiseerd omdat de graad van blootstelling in het veld niet in rekening werd gebracht. Er is wel degelijk een toxisch effect van Bt-proteïnen op de rupsen van de Monarchvlinder, maar de densiteit aan pollen van de genetisch gemodificeerde maïs op de zijdeplant is in natuurlijke omstandigheden verwaarloosbaar klein (Sears et al. 2001). Een 'meta-analyse' van verschillende studies naar de invloed van Bt-gewassen (katoen en maïs) op de abundantie (talrijkheid) van ongewervelden leidde tot de conclusie dat niet-doelsoorten doorgaans zelfs algemener zijn in ggo-teelten dan in traditionele teelten waar insecticiden gebruikt worden (Marvier et al. 2007). Hoewel deze Bt-teelten een positiever effect blijken te hebben dan de 'klassieke' alternatieven, waarbij gebruik gemaakt wordt van besproeiing met insecticiden, bleek er echter wel nog een negatieve invloed van de Bt-teelten wanneer deze vergeleken worden met insecticidenvrije teelt. Zo werd aangetoond dat verschillende groepen ongewervelden abundanter waren in insecticidenvrije teelten dan in Bt-teelten. Wanneer de transgene producten via plantaardig afval of via wortelexudaten (verbindingen die door de wortel worden afgescheiden) in de bodem terechtkomen, kunnen ze bovendien ook een invloed hebben op het bodemecosysteem. Er werd aangetoond dat de wortels van Bt-maïs proteïnen uitscheiden met insecticidale activiteit (Saxena et al. 1999) en op basis van een literatuuroverzicht besluit een andere studie (Dunfield & Germida 2004) dat ggo-teelten wel degelijk een aantoonbare maar variabele invloed hebben op de microbiële gemeenschap in bodems.

II. INVASIVITEIT

In de mate waarin ggo's kenmerken genieten die hen sterker maken in de competitie met andere soorten of hen toelaten nieuwe habitats te koloniseren, is er een risico dat de ggo's natuurlijke systemen binnendringen of 'invaderen' (Warwick et al. 2009). In de mate waarin het arsenaal aan ggo's uitbreidt met aandacht voor *fitness*-gerelateerde kenmerken die gewassen moeten toelaten ook op marginale gronden goed te gedijen, wordt dit risico groter. Doordat de gewijzigde kenmerken

een verhoging in (a)biotische stresstolerantie veroorzaken, stijgt de kans dat de drager een intrinsiek *fitness*-voordeel bekomt. De ervaringen met exotische soorten geven aan dat dit grote gevolgen kan hebben voor de biodiversiteit: na habitatvernietiging worden exotische soorten als een van de belangrijkste bedreigingen voor de biodiversiteit beschouwd (Meffe & Caroll 1997; Keller et al. 2011; Simberloff et al. 2013). Het is wellicht een utopie dat het volledig kan worden voorkomen dat transgenen zich zouden verspreiden. Een literatuuroverzicht leidt tot de conclusie dat virtueel alle transgenen vroeg of laat opduiken op onbedoelde plaatsen (Marvier & Van Acker 2005). Als planten resistente zaden produceren die verspreiding bevorderen en lang levenskrachtig blijven, verhoogt dit ook de kansen op een blijvend effect. Ondanks het feit dat er in Japan geen ggo's geteeld worden, komen populaties van genetisch gemodificeerd koolzaad voor langs transportwegen (Saji et al. 2005). De populaties bleken persistent over verschillende jaren, maar er werd geen sterke invasiviteit waargenomen (Nishizawa et al. 2009). Dit patroon is niet onverwacht in het licht van de waarnemingen bij exotische soorten: van de exotische soorten die zich vestigen in nieuwe regio's zal slechts één tot tien procent echt invasief worden en schade aanrichten.[31] Dit betekent dus concreet dat we alert moeten zijn voor het risico op invasiviteit van ggo's, aangezien de studies van exotische soorten ons leren dat de kansen op de ontwikkeling van een pestsoort weliswaar niet groot zijn, maar in combinatie met de schaal waarop ggo's worden geteeld, wordt de kans wel reëel. Bovendien kan de schade van een dergelijke pestsoort ernstig én onomkeerbaar zijn (Marvier & Van Acker 2005).[32] Uiteraard kan het risico op invasiviteit worden verminderd door ervoor te zorgen dat het ggo-gewas geen competitief voordeel heeft en zich moelijker kan verspreiden in de natuur, onder andere door de productie van kiemkrachtig zaad te onderdrukken of de plant steriel te maken (zie het kaderstuk 'Beperken van *gene-flow*'). Ook hier geldt echter dat de kracht van deze bescherming afhangt van de mate waarin deze beveiligingen sluitend zijn. Gegeven de enorme oppervlaktes aan ggo-teelten kunnen zelfs lage percentages van succesvolle zaadzetting resulteren in een risico op invasiviteit.

De meeste studies naar *fitness*-effecten van ggo's die beschermd zijn tegen insectenvraat en ziektes geven aan dat dit voordeel reëel is, maar enkel in aanwezigheid van de natuurlijke vijanden. Een combinatie van veldstudies met wiskundige modellen geeft bijvoorbeeld aan dat de groeisnelheid van transgene plantenpopulaties in dat geval met 15% kan stijgen en dat er extra (marginaal) habitat kan worden ingenomen (Godfree et al. 2007). Dit laatste wijst op een kans op invasiviteit. Momenteel wordt hard gewerkt aan transgene gewassen met verhoogde stresstolerantie (koudetolerantie, zouttolerantie, droogtetolerantie) en nutriëntgebruik-efficiëntie (bijvoorbeeld stikstof). Omdat vele van deze transgene gewassen nog in ontwikkeling zijn, zijn er weinig studies bekend naar hun *fitness*effecten in combinatie met wilde verwanten. In een studie van *fitness*voordelen en -kosten van koudetolerantie bij de modelplant *Arabidopsis* bleken twee van de drie geteste transgenen geen *fitness*voordeel (gemeten via zaadproductie) op te leveren (Jackson et al. 2004). Dit onderstreept niet alleen de complexiteit van de plant-interacties met biotische en abiotische factoren en de nood aan fysiologisch en ecologisch relevante testcondities, maar ook de complexiteit van het inschatten en testen van risico's op competitie met wilde varianten. Naarmate de voordelen van ggo-gewassen met een verhoogde capaciteit voor groei op marginale gronden

[31] De klassiek gebruikte 'regel van 10' (die zegt dat 10% van de geïntroduceerde soorten gevestigd raakt en 10% daarvan ook invasief wordt; Williamson, 1996) is mogelijk nog te conservatief.

[32] Bij ingebouwde pesticidenresistentie bestaat het risico op een pestsoort binnen de landbouwcontext (waarbinnen dit pesticide gebruikt wordt). Eigenschappen zoals insectenresistentie hebben potentieel ook effecten op de biodiversiteit buiten de landbouw.

groter worden, wordt dus helaas ook het risico op invasiviteit potentieel hoger. Dit risico moet daarom zo veel mogelijk beperkt worden, en de voordelen van de ggo-teelt moeten zorgvuldig worden afgewogen tegen het risico dat ze meebrengen.

Een belangrijk risico van ggo-gewassen is het doorbreken van de bestaande co-adaptatie tussen soorten en hun vijanden (competitoren, predatoren, parasieten) via het inbrengen van soortvreemde genen. Dit is één van de centrale redenen waarom ook exotische soorten soms zo invasief zijn. Anderzijds is het voordeel van het ingebrachte gen vaak ook niet zo sterk in een variabele omgeving, wat de nood aan veldproeven onderstreept. Ook hier geldt opnieuw de complexiteit van kansberekening: een geringe kans op invasiviteit kan zich in de reële wereld met zeer grote oppervlaktes gecultiveerd gewas vertalen naar een significant risico (zie ook verder). Studies naar invasieve soorten leren ons dat de kans op een invasieve uitheemse soort zeer gering is (naar schatting < 1/1000), maar de praktijk leert ons dat invasieve exoten een van de belangrijkste bedreigingen zijn voor de biodiversiteit op wereldschaal en dat de gemeenschappen in sommige streken sterk gedomineerd worden door exoten. Tenzij een technisch waterdicht systeem kan worden ingebouwd waardoor de kans op uitwisseling van genen met naburige teelten of wilde verwanten zo goed als uitgesloten is (zie het kaderstuk 'Beperken van *gene-flow*') en de kans op succesvolle groei van de ggo-variant onder natuurlijke condities sterk is verlaagd, moet rekening worden gehouden met deze kans op invasiviteit. De ecologische en economische schade van dergelijke gevallen van invasiviteit is potentieel hoog.

III. GENMIGRATIE

Er zijn twee mechanismen waarlangs genmigratie kan optreden tussen transgene gewassen en natuurlijke populaties. (1) Vooreerst kunnen ggo's hybridiseren (kruisen) met seksueel compatibele soorten. De kans op hybridisatie onder veldomstandigheden is afhankelijk van de door het pollen af te leggen afstand, het synchroon zijn van de bloeiperiode, de seksuele compatibiliteit en de ecologie van de ontvangende soort (Dale et al. 2002). Vreemde genen ('transgenen') worden op dezelfde manier overgeërfd als 'natuurlijke' genen. Het risico bestaat daarom dat transgenen door (ongewilde) kruising op termijn voorkomen op onbedoelde plaatsen, en in gecultiveerde of wilde populaties van aan het transgene gewas verwante soorten waarmee kruisbevruchting mogelijk is. (2) Naast hybridisatie is in principe ook horizontale gentransfer mogelijk. Horizontale gentransfer is de overdracht van genen tussen organismen zonder seksuele kruising of menselijke interventie. Al vanaf het ontstaan van ggo's is er de bezorgdheid dat de genetische wijzigingen een eigen leven gaan leiden. Een uitgebreide overzichtsstudie komt echter tot de conclusie dat het risico op horizontale gentransfer van ggo's naar andere organismen verwaarloosbaar is doordat het zelden voorkomt en door de kleine kans dat de transfer een selectief voordeel oplevert (Keese 2008). Enkel bij plasmiden en virussen komt horizontale gentransfer zo frequent voor dat het geobserveerd kan worden.

Daar waar horizontale gentransfer vermoedelijk een verwaarloosbaar risico vormt, is er intussen een vrij groot aantal studies waarin hybridisatie van transgene gewassen met niet-ggo-gewassen en verwante wilde soorten werd aangetoond. Zo kunnen er van de dertien meest gecultiveerde gewassen op wereldschaal twaalf hybridiseren met wilde verwanten (Ellstrand et al. 1999). Bij zeven soorten is er mogelijk ook sprake van introgressie, dit is een meer blijvende incorporatie van genen in de wilde populaties die meerdere generaties en terugkruising vereist. Ggo's kunnen zo op basis van empirische gegevens worden geklasseerd volgens het risico van introgressie, wat benadrukt dat

risico-evaluatie moet gebeuren op een *case-by-case* basis (Stewart et al. 2003). Bij gewassen zoals soja wijzen de gegevens op een eerder beperkt risico voor introgressie. Verhoogde risico's doen zich voor bij gewassen zoals koolzaad (met verschillende wilde *Brassica*-soorten) of sorghum, dat bovendien belangrijke onkruiden als wilde variant heeft. Naast de genetische compatibiliteit (die door de 'domesticatie' van landbouwgewassen ook kan verminderen) en de co-existentie (het samen voorkomen) van wilde varianten (voor maïs en soja niet in onze streken), zijn uiteraard de natuur van het transgen (en de mee-overgeërfde naburige genen met hun specifieke *fitness*-voordeel of -nadeel) en de selectiedruk die erop wordt uitgeoefend na hybridisatie belangrijke factoren die het risico op introgressie bepalen.

Sinds het eerste bewijs van het voorkomen van een transgen afkomstig van een gecommercialiseerde ggo (namelijk koolzaad) in een wilde verwant (Warwick et al. 2003) hebben meerdere veldstudies genmigratie aangetoond in het veld, ook reeds na één veldseizoen en tot meerdere kilometers buiten het proefveld (Reichman et al. 2006). Een recente *follow-up* studie van eerdere, fel bediscussieerde waarnemingen van genmigratie bij genetisch gemodificeerde maïs in Mexico bevestigde dat er onbedoelde genenuitwisseling plaatsgevonden heeft naar wilde Mexicaanse maïsvariëteiten (Pineyro-Nelson et al. 2009). Dit is belangrijk, omdat hier een risico op aantasting van de genetische diversiteit van de wilde basisgenenpoel van dit belangrijke cultuurgewas wordt aangetoond.

Er zijn twee risico's verbonden aan transgene introgressie: beïnvloeding en uitholling van de genetische variatie in de wilde stocks van de cultuurgewassen en hun naaste verwanten, en het ontstaan van pestsoorten met verhoogde impact doordat ze gunstige eigenschappen verkrijgen. Omdat hybridisatie voornamelijk optreedt tussen soorten die sterk verwant zijn, is het risico op een contaminatie van wilde populaties van het cultuurgewas en soorten die sterk verwant zijn aan het ggo-gewas het grootst. Dit houdt een risico in op verarming van de natuurlijke diversiteit aan 'crop wild relatives', die het natuurlijke reservoir zijn waaruit traditionele telers en ook biotechnologen kunnen putten voor de verbetering van eigenschappen van cultuurgewassen, zoals ziekteresistentie. De voorbeelden van hybridisatie bij maïs en koolzaad die hierboven zijn aangehaald, illustreren dat dit een reëel risico is, dat als gevolg kan hebben dat het gebruik van ggo's op langere termijn de verbetering van gewassen via traditionele methoden kan hypothekeren. Verschillende technologieën en strategieën worden daarom ontwikkeld om het risico op hybridisatie en introgressie verder te beperken (zie het kaderstuk).[33]

Beperken van gene-flow

Gegeven het reële risico op hybridisatie en de potentieel grote gevolgen die een dergelijke hybridisatie kan hebben, gaan we hier ook wat dieper in op de maatregelen die hybridisatie kunnen beperken. Daarbij rijst de vraag in welke mate het mogelijk is sluitende maatregelen in te bouwen in een context waarbij zeer grote oppervlaktes ggo's worden geteeld. Er zijn twee types maatregelen: het implementeren van bufferzones en andere wettelijke beperkingen die het contact met andere teelten en wilde verwanten moeten beperken, en technische ingrepen. De implementatie van bufferzones is in de praktijk niet sluitend omdat de controle over zeer grote oppervlaktes en in wereldwijd zeer verschillende omstandigheden in de praktijk onvoldoende is, en

[33] *Gene flow* kan in principe ook in de omgekeerde richting plaatsvinden en ongewenste effecten hebben op landbouwgewassen door het verstoren van het gedomesticeerde genoom met een willekeurige set van 'wilde' genen. Gentechnologie kan interessante wilde genen (bijvoorbeeld voor resistentie tegen pathogenen) dan weer specifieker en sneller introduceren in landbouwgewassen via cisgenese.

nu al is aangetoond dat ggo-gewassen opduiken op onbedoelde plaatsen. Technisch zijn er wel interessante mogelijkheden, die momenteel echter niet of onvoldoende worden toegepast:

In de eerste plaats is de genomische context van het transgen, met name de genen die in de buurt liggen en bij overerving samen worden uitgewisseld, hierbij een belangrijke factor. Heel wat van de genen die gerelateerd zijn aan de hoge opbrengsten van onze gedomesticeerde landbouwgewassen resulteren immers in een lagere fitheid (*fitness*) in natuurlijke milieus waar ze in rechtstreekse competitie treden met natuurlijke gewassen, en waar er geen sprake is van bemesting, insecticiden en onkruidverdelging. Wanneer het transgen gekoppeld is aan zulke genen die resulteren in een verlaagde netto-competitiviteit (*fitness*), is het risico op introgressie veel kleiner. Gerichte insertie kan dus zorgen voor een extra barrière tegen uitwisseling.

Een andere mogelijke strategie is de insertie van het transgen in het niet-nucleaire genoom van plantencellen. Zo hebben chloroplasten en mitochondriën (kleine celcompartimenten of 'organellen' waar respectievelijk de fotosynthese en de ademhaling plaatsvinden) zelf ook een beperkte hoeveelheid genetische informatie (wat wijst op hun oorsprong als aparte, vrijlevende cellen). Deze organellen en hun genetische informatie worden hoofdzakelijk doorgegeven via de eicel (en vervolgens het zaad van de plant) en zijn niet aanwezig in het pollen. Hoewel niet sluitend, kan dit ook een extra barrière vormen voor verspreiding en hybridisatie.

'*Gene switch*' technologieën gebruiken een conditionele (bijvoorbeeld chemisch induceerbare en eventueel lokale) expressie van het transgen. Dit werkt zeer goed in modelsystemen en is een grote hulp in het wetenschappelijk onderzoek, maar moet nog verder geoptimaliseerd worden voor gebruik op grote schaal in het veld. Het houdt in dat het transgen pas tot expressie komt wanneer aan bepaalde artificiële voorwaarden is voldaan.

Ten slotte wordt ook onderzoek verricht naar steriliteit om *gene flow* te beperken. Dit kan via (mannelijke) pollen-steriliteit of een (al dan niet chemisch op te heffen) remming van de embryo-leefbaarheid of zaadkieming, o.a. bekend als 'Gene use restriction technology (GURT)', vroeger onder de wat ongelukkige en controversiële naam 'Terminator technology'. Een dergelijke technologie kan uiteraard de afhankelijkheid van het zaadbedrijf vergroten, hoewel dit ook met hybride zaden al het geval is.

Een aantal van deze technieken zijn dus zeer beloftevol, maar vereisen nog verder onderzoek, optimalisatie en testen alvorens ze ook effectief in landbouwgewassen kunnen gebruikt worden.

Het risico op contaminatie en hybridisatie is dus sterk afhankelijk van de voorplantingswijze van het gewas en dit heeft zijn invloed op eventuele wettelijk beperkingen (zie het kaderstuk).

Contaminatie, hybridisatie en de wetgeving: co-existentie en de afstandsregel

Een aantal teelten zoals aardappelen reproduceren zich nog bijna uitsluitend vegetatief. Bij zelfbevruchters, zoals tarwe, soja, rijst of gerst, treedt bijna uitsluitend bevruchting met eigen stuifmeel van de bloem op. Bij deze gewassen is een bestuiving door pollen van een nabijgelegen transgeen gewas zeer miniem. Bij kruisbevruchters is de toestand anders omdat de planten hier bevrucht worden door stuifmeel van andere planten, eventueel van planten uit een naburig veld. Dit risico op contaminatie is dus reëel, maar hoe ver het transgeen stuifmeel zich kan verspreiden hangt af van een hele reeks factoren zoals de plantensoort (bijvoorbeeld de hoeveelheid stuifmeel die wordt geproduceerd, windbestuiving of insectenbestuiving), de perceelgrootte en oriëntatie, de windrichting en de weersomstandigheden. Voor vele gewassen zijn hierover wetenschappelijke studies gedaan en de wetgever zal zich baseren op deze studies om de afstandsregels vast te leggen. Wanneer er geen goede studies voorhanden zijn, zal het voorzorgsprincipe gehanteerd worden en kan het zijn dat het ggo-gewas niet mag worden verbouwd. Opvallend zijn wel de grote verschillen in afstandsregels tussen verschillende landen. Zo is deze afstand voor Bt-maïs in Oostenrijk ongeveer tien keer groter dan in Vlaanderen. Dit wijst erop dat voor de co-existentieregels ook andere criteria gelden dan louter

wetenschappelijke. Een concreet voorbeeld van de complexe procedures voor de teelt van ggo-maïs in Vlaanderen kan in de bijlage, p. 85, gevonden worden. Het feit dat wetenschappelijke inzichten met betrekking tot afstandsregels anders worden geïnterpreteerd in verschillende landen geeft aan dat men andere visies heeft op risico's, of dat er verschillend wordt omgegaan met het in rekening brengen van economische argumenten en werkbaarheid. Zo is de geringere afstand in Vlaanderen misschien geïnspireerd door het feit dat de perceelgroottes in Vlaanderen doorgaans vrij klein zijn, zodat grote afstandsregels niet werkbaar zijn. Grotere afstanden kunnen dan weer een maatregel zijn die er feitelijk op gericht is het aanplanten van ggo's in de praktijk onmogelijk te maken. Dergelijke redeneringen gaan echter voorbij aan de essentie van de wetenschappelijke risico-bepaling.

Belangrijk is om hier een duidelijk onderscheid te maken tussen enerzijds de 0,9% regel van toelaatbare contaminatie voor niet-ggo-eindproducten, wat een praktische regeling is om de co-existentie van ggo- en niet-ggo-teelten wettelijk te regelen, en anderzijds de risico's op hybridisatie met wilde verwanten, wat eventueel aanleiding kan geven tot de verspreiding van een transgen en invasiviteit. In dit laatste geval is een dergelijke regel immers niet werkbaar, omdat ook uitkruisingen die slechts zeer zelden voorkomen op termijn kunnen leiden tot grote schade; een succesvolle variant kan zich immers snel verspreiden, zoals wordt geïllustreerd door de problematiek van invasieve exotische soorten. Het instellen van bufferzones is daarom niet voldoende om dergelijke risico's *de facto* te vermijden, en men moet dus sterk investeren in het ontwikkelen van de nodige technologie om verspreiding van transgenen zo goed als onmogelijk te maken. Dit wordt ook belangrijker naarmate de ggo-gewassen grotere *fitness*-voordelen hebben, bijvoorbeeld doordat ze meer droogte- or ziekteresistent zijn.

IV. HET ONTWIKKELEN VAN RESISTENTIE

Onkruidbeheersing is, zeker voor traaggroeiende gewassen zoals soja, van cruciaal belang. Mechanische verwijdering is echter zeer arbeids- en energie-intensief en kan ook de bodemerosie versterken. Er wordt in de conventionele landbouw dan ook sterk ingezet op het gebruik van (niet altijd even veilige of selectieve) herbiciden. De teelt van specifieke ggo's kan resulteren in een ander herbicidengebruik, dat niet noodzakelijk vermindert maar wel verandert in dosering en type bestrijdingsmiddel (Graef 2009). Bij traditionele teelten wordt typisch gewerkt met een mix van actieve stoffen die op verschillende tijdstippen toegediend moeten worden, terwijl veel ggo-gewassen voornamelijk worden behandeld met minder toxische niet-selectieve systemische producten op basis van glyfosaat (o.a. op de markt onder de naam Roundup) of glufosinaat-ammonium (bijvoorbeeld gekend als Basta, Rely, Finale, Ignite, Challenge of Liberty). Een grootschalig onderzoek waarin de biodiversiteit van planten en insecten vergeleken werd tussen ggo- en conventionele teelten van biet, maïs en koolzaad in het VK (Heard & Brooks 2006) toonde een negatief effect op de biodiversiteit aan van ggo-biet- en koolzaadteelt, maar een positief effect van ggo-maïs. Dit laatste is in overeenstemming met een studie waarbij werd vastgesteld dat de impact op het milieu lager is bij een herbicidengebruik dat enkel glyfosfaat of glufosfaat-ammonium omvat dan bij meer complexe conventionele herbicidenbehandelingen (DeVos et al. 2008). Dit impliceert uiteraard dat de in de conventionele landbouw toegepaste herbiciden bij maïsteelt sterk negatieve effecten hebben de omgeving.

Herhaaldelijk gebruik van eenzelfde herbicide kan echter ook leiden tot de ontwikkeling van resistentie, wat eveneens een belangrijke uitdaging is in de conventionele landbouw, waar het

gebruik van een mix van actieve stoffen het risico wel verlaagt.[34] Zo werd bijvoorbeeld aangetoond dat na drie jaar gebruik van puur glyfosaat bij de teelt van glyfosaat-resistente ggo-sojabonen dit herbicide niet meer in staat was om Canadese fijnstraal (*Coniza canadensis*) te controleren (Van Gessel 2001). Het onkruid was resistent voor 8 à 13 maal de normale dosis vergeleken met een vatbare populatie. Hoewel herbicidentolerantie de impact op het milieu dus potentieel kan verlagen door het gebruik van minder toxische, enkelvoudige breedspectrum-herbiciden en het beperken van ploegen (*no-till farming*), zijn inmiddels reeds glyfosaat-resistente gewassen gevonden in 18 landen en rijst de vraag hoe lang deze voordelen zullen duren. Ondertussen geeft Monsanto zelf reeds de aanbeveling aan boeren om hun gewassen met een mix van producten te besproeien en te ploegen (om resistentie te beperken) en ontwikkelen verschillende bedrijven nieuwe herbicidenresistente gewassen (Gilbert 2013).

Resistentie van insecten is een evidente zorg bij toepassingen zoals Bt-gewassen; de laatste 15 jaar is de resistentie tegen Bt-gewassen evenredig toegenomen met het areaal (Tabashnik et al. 2013). De U.S. Environmental Protection Agency vereist dan ook dat 20% van het Bt-maïsareaal beplant wordt met niet-Bt zaad om 'refugia' (letterlijk: toevluchtsoorden) te creëren die de evolutie van resistentie bij insecten verhindert of vertraagt door het onderhouden van voldoende grote populaties gevoelige insecten, die hun gevoeligheid dan ook kunnen doorgeven. De redenering is eenvoudig: de aanplant van Bt-gewassen leidt tot een sterke selectie voor resistentie, maar resistentie vereist meestal homozygotie, en door een voldoende grote populatie gevoelige insecten te onderhouden is de kans dat een resistent individu paart met een ander resistent individu gering (Rausher 2001). De heterozygote individuen zijn in het volgende groeiseizoen alle voldoende gevoelig om gedood te worden door de Bt-gewassen, en zo wordt het verspreiden van resistentie geblokkeerd. De implementatie van deze methode vereist goede opvolging, omdat ook de positie van de refugia belangrijk is voor succes; de velden met ggo-gewassen mogen immers niet te groot zijn. Daarnaast zijn ook de productie van voldoende hoge toxineconcentraties en de gecombineerde productie van twee of meerdere verschillende types toxines belangrijke strategieën om de ontwikkeling van resistentie te verhinderen of remmen (Tabashnik et al. 2013).

C. ONRECHTSTREEKSE MILIEU-EFFECTEN

Onrechtstreekse milieueffecten hebben vooral betrekking op de gevolgen van de gewijzigde landbouwmethodes die gepaard gaan met de introductie van ggo's. Ggo's vormen een investeringsintensieve benadering van landbouw en leiden zo mogelijk tot een verdere intensivering en schaalvergroting van de landbouw. Daar waar de negatieve gevolgen van intensivering en schaalvergroting voor het milieu ook kunnen optreden zonder de introductie van ggo's, bestaat het risico dat de introductie van ggo's een eventueel gewenste schaalverkleining en meer heterogene, duurzame landbouw in de weg staat, hoewel dit niet per definitie zo hoeft te zijn (cfr. bij toepassingen zoals Bt-insectenresistente gewassen). Terwijl bepleiters van ggo's in de landbouw niet geneigd zijn om onrechtstreekse milieu-invloeden van ggo's in rekening te brengen, spelen deze vaak een grote rol in de argumentatie van tegenstanders.

Een belangrijke vorm van biodiversiteit die bedreigd kan worden door grootschalige ggo-teelt is de diversiteit aan variëteiten binnen de cultuurgewassen zelf. Het steeds grootschaliger worden van

[34] Net zoals met het gebruik van antibiotica bij een bacteriële infectie is een doorgedreven behandeling met voldoende hoge dosissen noodzakelijk om het ontstaan van resistentie te voorkomen.

landbouwtechnieken resulteert in een teloorgang van lokale variëteiten. De ideale manier om diversiteit in landbouwgewassen te bewaren is ze onder zeer verschillende omstandigheden in het veld te kweken, waardoor de natuurlijke variatie in selectiedruk in ruimte en tijd zorgt voor een behoud van de genetische variatie in populaties. De voormalige kleinschalige landbouw resulteerde vaak niet in de meest optimale teeltvariëteiten, maar zorgde wel voor een behoud van de diversiteit. Zoals hoger al aangegeven, vormt diversiteit een 'verzekering' met betrekking tot de mogelijkheid tot genetische optimalisatie in de toekomst, wanneer bijvoorbeeld door klimaatverandering meer nood is aan droogteresistentie, of wanneer nieuwe ziektes de kop opsteken.[35] Door grootschaligheid en industrialisatie van de landbouw wordt de productie opgevoerd, maar met als neveneffect een egalisatie van de cultuurgewassen en grootschalige monoculturen. Ggo's kunnen een verdere stap in die richting zijn, omdat ze vaak kosten-intensief zijn in de ontwikkeling en vervolgens op zeer grote schaal worden toegepast. De diversiteit in cultuurgewassen kan dan ook verder onder druk komen te staan indien men zich uitsluitend zou richten op ggo-teelten (Engels et al. 2004). Anderzijds is het belangrijk om op te merken dat de schaalvergroting en afname van biodiversiteit in de landbouw niet per definitie gelinkt is aan ggo's, maar in de eerste plaats een gevolg is van de industrialisatie en globalisering van onze voedselproductie. Het nut en de waarde van biodiversiteit zijn dus onderwerp van een interessante en belangrijke discussie en stellen mogelijk zelfs een dilemma bij de noodzakelijke productie van voedsel (en energie). Voor een omstandige argumentatie van de waarde van biodiversiteit verwijzen we naar de Metaforum-visietekst 'Biodiversiteit: Basisproduct of luxegoed?'. Uit studies blijkt dat het effect van ggo's op het milieu complex en niet steeds eenduidig is. Zo bleek bijvoorbeeld dat het aandeel dicotylen (breedbladerige tweezaadlobbigen) onder de kruiden op ggo-velden daalde tot een derde, terwijl de monocotylen (eenzaadlobbigen; waaronder bijvoorbeeld vele grassen) even sterk in aandeel stegen (Bohan et al. 2005). Bijen en vlinders kwamen hierdoor minder voor in de ggo-teelten, terwijl *Collembola*-populaties (springstaarten, die zich voeden met rottend organisch materiaal en schimmels) net stegen in abundantie. Gegeven de natuurwaarde van vlinders en het belang van bijen voor bestuiving zijn dit potentieel ernstige nadelige gevolgen van continu gebruik van glyfosaat. Dit is vooral zo in het licht van de 'pollinatie-crisis' die de laatste decennia ernstige proporties aanneemt in Noord-Amerika en Europa, en waarbij de natuurlijke bijenpopulaties grotendeels uit het landschap verdwenen zijn omwille van een ondoordacht pesticidengebruik (Biesmeijer et al. 2006). Deze pollinatie-crisis geeft aan dat de conventionele teelttechnieken moeten worden veranderd, en de meeste studies die tot dusver werden uitgevoerd geven niet aan dat ggo's hier verbetering brengen. Verandering in de planten- en insectensamenstelling in ggo-teelten zou ook invloed kunnen hebben op vogelpopulaties (Gibbons et al. 2006). De conclusie is hier dat de conventionele landbouw zeer schadelijke effecten heeft op het milieu en dat ggo's op dit punt tot nog toe hooguit marginale verbeteringen opleveren.

De bio-landbouw staat zeer wantrouwig ten opzichte van ggo-teelten, om verschillende redenen. Vooreerst wordt gevreesd dat grootschalige ggo-teelt resulteert in een verdere vermindering van de populaties predatore insecten en parasitoïden, die de bio-landbouw nodig heeft voor een natuurlijke controle van pestsoorten,[36] maar deze vrees is niet altijd terecht (Lu et al. 2012). Bovendien is er de bijkomende vrees dat door de veelvuldige teelt van Bt-gewassen resistentie optreedt bij de

[35] Organisaties zoals CGIAR (voorheen de Consultative Group on International Agricultural Research; http://www.cgiar.org) leggen ook uitgebreide zaadbanken aan voor het behoud van deze genetische diversiteit.

[36] Traditionele (en biologische) methodes zijn ook niet per definitie natuurlijk of onschadelijk; denk bijvoorbeeld aan het gebruik van zware metalen (kopersulfaat) tegen schimmelinfecties in de wijnbouw.

doelsoorten. Dit is nefast voor de bio-landbouw, omdat Bt een in de bio-landbouw toegestaan pesticide is. Ten slotte is de grootschaligheid die vereist is voor de rendabiliteit van bepaalde ggo-teelten (zoals de herbicidentolerente gewassen) moeilijk te rijmen met de kleinschaligheid en de nadruk op heterogeniteit in het landschap die belangrijk zijn in de bio-landbouw. Kleinschaligheid en de aanwezigheid van natuurlijke elementen in het landschap zijn inderdaad belangrijk. Zo werd aangetoond dat de pollinatiegraad van landbouwgewassen toeneemt met een toenemend percentage natuurlijke landschapselementen (zie ook de Metaforum-visietekst 'Biodiversiteit: Basisproduct of luxegoed?').

Het is interessant om op te merken dat, hoewel ggo's per definitie worden uitgesloten uit de bio-landbouw, bepaalde toepassingen niet noodzakelijk onverenigbaar zijn met de biologische teelt, bijvoorbeeld als dergelijke gewassen minder nood hebben aan intensieve bemesting, minder gevoelig zijn voor ziekten en plagen, of beter groeien op armere bodems of in extreme klimaten. De combinatie van ggo-technologie met bio-teelt, hoe paradoxaal ook, biedt daarom mogelijk erg interessante toekomstperspectieven.

D. COMPLEXITEIT VAN RISICO-ANALYSE BIJ GGO-TEELTEN

Uit het bovenstaande moge afdoende blijken dat het inschatten van de risico's van specifieke ggo-teelten niet gemakkelijk is aangezien deze risico's afhangen van het type gen dat is gewijzigd en van het specifieke gewas, maar ook van omgevingscondities en de aard van de ecosystemen in de omgeving van de teelt. Er zijn bovendien een aantal andere elementen die het inschatten van de milieurisico's van ggo's sterk bemoeilijken.

Een eerste belangrijke factor is de grootschaligheid van het gebruik van ggo's. Veelal geven risicoanalyses, inclusief experimentele studies, aan dat de kans op problemen (bijvoorbeeld genmigratie en uitkruising) zeer tot relatief gering is. Maar een zeer geringe kans op contaminatie per ha aangeplant gewas kan zich vertalen in de bijna zekerheid dat er enige contaminatie optreedt wanneer miljoenen hectaren in beschouwing worden genomen, wat de reële situatie is voor een aantal ggo-teelten. Op een dergelijke schaal zijn geen experimentele analyses mogelijk en kan men de risico's enkel inschatten via extrapolaties van modellen .

Een tweede heel belangrijk aandachtspunt bij het inschatten van milieurisico's is de keuze van de referentie. Het globale beeld dat uit de literatuur naar voor komt, is dat de milieukost van ggo-teelten ten opzichte van de conventionele intensieve landbouw eerder gering is. Zo worden in een aantal studies licht positieve en in andere studies licht negatieve effecten op het milieu waargenomen, maar de effecten zijn zelden groot. Voorstanders redeneren op basis van deze waarnemingen dat de milieu-impact van ggo's gering is en bijgevolg geen argument vormt om hun verspreiding aan banden te leggen. Anderzijds is het zo dat er tot nog toe zelden echt afgetekend positieve effecten op het milieu worden vastgesteld, in tegenspraak met de claims dat ggo's net een zegen voor het milieu zijn, omdat ze bijvoorbeeld het pesticidengebruik zouden reduceren. In de meeste studies worden bovendien vaak enkel de rechtstreekse effecten van ggo's op het milieu in rekening gebracht, en niet de onrechtstreekse, die het gevolg zijn van de bijdrage van ggo's tot de verandering van de context van de landbouwproductie. In die optiek is het bij de evaluatie van de milieurisico's van ggo's cruciaal om na te denken over de referentie- of 'controle'-conditie: in de meeste studies wordt de milieu-impact van ggo's vergeleken met deze van de momenteel meest

beoefende 'traditionele' landbouw, die vaak zeer sterk milieubelastend is in termen van bemesting, pesticidengebruik en energie-investering. Het is misschien symptomatisch dat de meeste positieve effecten van ggo's worden gerapporteerd voor maïsteelt, omdat van dit gewas genoegzaam bekend is dat de conventionele teeltwijze bijzonder milieubelastend is. Een interessante vraag is dan ook of ggo-teelten qua milieu-impact kunnen wedijveren met de meest milieuvriendelijke en duurzame teeltwijzen. Anderzijds is er ook de pertinente vraag of de meest duurzame teeltwijzen voldoende kunnen voorzien in de vereiste productiehoeveelheden. Het is daarom interessant om te onderzoeken of en hoe ggo's eventueel kunnen bijdragen tot de verhoging van de productie van duurzame en/of biologische landbouw, waarbij mogelijk betere rendementen kunnen worden gehaald, terwijl de milieubelasting zo klein mogelijk blijft (Tester 2009).

8. SOCIO-ECONOMISCHE IMPACT VAN GGO'S

Met de snelle toename van de wereldbevolking is, naast andere maatregelen zoals het beperken van overschotten en afvalstromen, ook een gevoelige stijging van de landbouwopbrengst en -efficiëntie noodzakelijk (Von Braun 2007; Foley et al. 2011). In het verleden hebben nieuwe technologieën, zoals de Groene Revolutie in de jaren zestig en zeventig, al een belangrijke rol gespeeld in het verhogen van de voedselproductie en het bestrijden van armoede op het platteland in Azië (bijvoorbeeld Hazell & Ramasamy 1991; Fan et al. 2005). De vraag is of een gelijkaardige impact kan worden verwacht van het gebruik van ggo's. Hierna bediscussiëren we beschikbare cijfers over de impact van ggo's op de productiviteit en rendabiliteit van individuele boeren, op armoede en ongelijkheid, op gezondheid en de algemene impact op de landbouwsector en voedselketen.[37]

A. IMPACT OP LANDBOUWOPBRENGST EN RENDABILITEIT[38]

In het algemeen heeft de ggo-technologie een positieve impact op landbouwinkomens en rendabiliteit door een combinatie van hogere landbouwopbrengsten en lagere inputkosten (herbiciden, arbeid, enz.), ondanks het feit dat ggo-zaden in de meeste gevallen duurder zijn dan conventionele zaden. Wereldwijd wordt de directe impact van de ggo-technologie op het globale landbouwinkomen in 2010 geschat op 14 miljard US$ (Brookes & Barfoot 2012). De concrete impact voor de individuele landbouwer is echter afhankelijk van het niveau van bescherming met intellectuele eigendomsrechten (zie hoger) en de gebruikte technologie (bijvoorbeeld herbicidentolerantie of Bt-insectenresistentie). Er zijn ook verschillen tussen gewastypes en landen verschillen ook vaak in hun landbouwbeleid (Qaim 2009). Daarenboven is er vaak ook nog

[37] Bestaande studies die de socio-economische impact van de eerste generatie ggo's nagaan analyseren vooral de impact op de productiviteit en rendabiliteit van ggo-gewassen, terwijl de studies over de tweede generatie ggo's vooral de impact op eetpatronen en gezondheid nagaan.

[38] Sommige studies vergelijken socio-economische indicatoren tussen ggo- en conventionele telers (bijvoorbeeld Kalaitzandonakes 2003; Gandhi & Namboodiri 2006). In dit geval is er sprake van selectiebias (met andere woorden, ggo-telers en conventionele telers verschillen ook op andere vlakken dan de technologie die zij gebruiken, wat ook aanleiding kan geven tot socio-economische verschillen) en een aantal studies hebben getracht dit probleem op te lossen, bijvoorbeeld door gebruik te maken van informatie doorheen de tijd ('panel data') (bijvoorbeeld Kathange & Qaim 2012) of door simulaties te maken van wat de situatie zou zijn als conventionele boeren de ggo-technologie zouden gebruiken ('counterfactual reasoning') (bijvoorbeeld Brookes & Barfoot 2012) of door gegevens te gebruiken van boeren die zowel ggo- als conventionele gewassen telen (bijvoorbeeld Qaim & de Janvry 2005).

heterogeniteit tussen landbouwers in eenzelfde land (bijvoorbeeld Qaim et al. 2006; Pemsl & Waibel 2007).

I. IMPACT VAN BESCHERMING INTELLECTUELE EIGENDOM

De ontwikkeling van ggo's is grotendeels in handen van een paar multinationale ondernemingen, aangezien het onderzoeksproces, maar ook en vooral de procedures voor het testen en goedkeuren van ggo-gewassen, een aanzienlijk startkapitaal vereisen (Qaim 2005).[39] Om de kostprijs van die investering te dekken, is de prijs van de ggo-zaden in de meeste gevallen hoger dan deze van conventionele zaden. De impact van hogere prijzen voor ggo-zaadgoed op de rendabiliteit van de ggo-technologie is heterogeen tussen regio's en sterk afhankelijk van het niveau van bescherming met intellectuele eigendomsrechten in de regio (Brookes & Barfoot 2012).

In het algemeen is de bescherming van intellectuele eigendom sterker in ontwikkelde landen dan in ontwikkelingslanden en bijgevolg zal de relatieve kostprijs van ggo-zaden hoger liggen in ontwikkelde landen dan in ontwikkelingslanden (bijvoorbeeld Basu & Qaim 2007; Sadashivappa & Qaim 2009). In Zuid-Amerika, bijvoorbeeld, ligt de winstmarge voor de teler van herbicidentolerante gewassen hoger dan in Noord-Amerika omdat de ggo-technologie er niet gepatenteerd is en de kostprijs van zaadgoed daardoor lager (Trigo & Cap 2006).[40]

Een bijkomend gevolg van de zwakkere bescherming met intellectuele eigendomsrechten in ontwikkelingslanden is dat in het algemeen de multinationale ondernemingen slechts weinig *incentives* hebben om lokale ggo-gewassen te ontwikkelen of bestaande ggo-gewassen aan te passen aan de lokale klimaat- en bodemcondities in ontwikkelingslanden (Qaim 2005). In een poging om dit gebrek aan private investeringen te compenseren, investeren de overheden van bepaalde ontwikkelingslanden zelf in publiek biotechnologisch onderzoek naar ggo-gewassen (Cohen 2005). Vooral in de ontwikkelingslanden die van oudsher al een sterk ontwikkeld nationaal landbouwonderzoeksprogramma hebben, zoals China en Brazilië, is er in de laatste jaren een sterke stijging van het onderzoeksbudget voor de ontwikkeling van ggo-gewassen (Qaim 2005). In China werd bijvoorbeeld recent een nieuw ggo-onderzoeksprogramma goedgekeurd ter waarde van 26 miljard yuan (of 3,8 miljard US$) voor de periode 2009-2020 (Christiaensen 2012). In Brazilië is het jaarlijkse budget voor biotechnologisch ggo-onderzoek gestegen van 478 miljoen US$ in 2006 tot 1,1 miljard US$ in 2011 (Kulkarni & Damodaran 2012). Deze investeringen hebben geleid tot de ontwikkeling van lokale ggo-variëteiten van verschillende gewassen. In China is er ggo-rijst waarvan het vooralsnog onzeker is of die op de markt komt. In Brazilië zijn er ggo-bruine bonen die resistent zijn tegen het mozaïekvirus. Daarnaast zijn er ook publiek-private initiatieven (in samenwerking met

[39] De zaadindustrie is sterk geconcentreerd en in 2009 was ongeveer 35% van de globale verkoop van zaadgoed in handen van de drie grootste bedrijven, waarvan het belangrijkste het Amerikaanse bedrijf Montsanto is (17% van de markt voor zaadgoed) (Schenkelaars et al. 2011).

[40] Studies over sojabonen, katoen en koolzaad in de VS en Canada tonen aan dat de meerprijs van HT ggo-zaden in dezelfde grootteorde ligt of zelfs groter is dan de reductie in de productiekost, zodat de winstmarge klein of zelfs negatief is (bijvoorbeeld Duffy 2001; Philips 2003; Naseem & Pray 2004). In dit geval zijn de belangrijkste redenen om toch voor HT-technologie te kiezen een vereenvoudigde onkruidbestrijding en lagere beheerskosten, wat bijvoorbeeld in de VS heeft geleid tot hogere inkomsten buiten de landbouw (Fernandez-Cornejo et al. 2005). Daarnaast is er een verbetering van de werkomstandigheden omdat er minder toxische herbiciden worden gebruikt (Brookes & Barfoot 2012).

BASF) die geleid hebben tot de ontwikkeling van een Braziliaanse herbicidentolerante ggo-sojaboon-variëteit (Kulkarni & Damodaran 2012).

II. IMPACT VAN DE TECHNOLOGIE

Herbicidentolerante gewassen zijn tolerant tegen bepaalde breedspectrum-herbiciden, die meestal effectiever, minder toxisch en goedkoper zijn dan selectieve herbiciden (Qaim 2009). De voornaamste voordelen met betrekking tot de rendabiliteit van deze technologie zijn verbonden aan lagere productiekosten omdat de totale uitgaven voor herbiciden, arbeid, machine- en oliegebruik lager liggen. De impact op de landbouwopbrengst is eerder beperkt en in de meeste gevallen is er geen duidelijk verschil tussen de opbrengst van deze en conventionele gewassen.[41]

In tegenstelling tot de herbicidentolerante gewassen hebben de Bt-gewassen wel een impact op de opbrengst, maar de grootte van dat effect is afhankelijk van het 'initiële' insecticidegebruik. Boeren die initieel kleine hoeveelheden insecticiden gebruikten bij de productie van conventionele gewassen zullen hogere opbrengsten hebben in het geval zij Bt-gewassen gaan produceren, terwijl boeren die initieel veel insecticiden gebruikten vooral financiële voordelen ondervinden van een verminderd insecticidegebruik. Bijgevolg zal de Bt-technologie vooral in ontwikkelingslanden leiden tot hogere opbrengsten aangezien plantenziekten frequenter voorkomen in het zuiden en boeren daar in het algemeen minder toegang hebben tot chemische bestrijdingsmiddelen (Qaim & Zilberman 2003). In ontwikkelde landen echter zullen voornamelijk de financiële voordelen van een verminderd insecticidegebruik doorwegen. De impact op de opbrengst van Bt-katoen, bijvoorbeeld, is het hoogst in Argentinië en Indië (Qaim & de Janvry 2005; Qaim et al. 2006). Ook voor Bt-maïs is er een positieve impact op de opbrengst, hoewel het effect kleiner is dan bij katoen. Voor de productie van rijst in China, waarvoor traditioneel veel pesticiden worden gebruikt, vindt men ten gevolge van de adoptie van Bt-rijst (in de laatste testfase) dan weer een sterke vermindering in insecticidengebruik, maar een relatief klein effect op de opbrengst (Huang et al. 2005). De hoeveelheid en de kostprijs van het pesticidengebruik voor Bt-gewassen zijn acht tot tien keer lager dan voor conventionele rijst. Voor Bt-aubergine rapporteert men bijvoorbeeld in Indië zowel een vermindering van het insecticidengebruik als een verhoging van de opbrengst (Krishna & Qaim 2008).

B. ARMOEDE EN ONGELIJKHEID

Twee derde van alle mensen die onder de armoedegrens leven, wonen op het platteland en zijn afhankelijk van landbouwproductie. Bijgevolg kan de productie van ggo's belangrijke implicaties hebben voor armoede en inkomensongelijkheid in ontwikkelingslanden. Als alleen rijkere boeren toegang hebben tot ggo's, kan dit leiden tot meer inkomensongelijkheid, maar als ook armere boeren toegang hebben tot de technologie, dan kunnen er positieve welvaartseffecten verbonden zijn aan de productie van ggo-gewassen.

[41] Alleen in bepaalde specifieke gevallen wanneer selectieve herbiciden onvoldoende blijken te zijn voor onkruidbestrijding, zoals bijvoorbeeld voor de productie van sojabonen in Roemenië of maïs in Argentinië, kan de omschakeling naar breedspectrum-herbiciden leiden tot een betere onkruidbestrijding waardoor zowel de kwaliteit als de opbrengst van de productie verbetert (Brookes & Barfoot 2012). Daarnaast wijzen de eerste studies die de impact van de tweede generatie HT-sojabonen in de VS analyseren ook op een toename van de opbrengst tussen 5% en 10% (Brookes & Barfoot 2012).

Naast de technologische aspecten (bijvoorbeeld de geschiktheid van de technologie voor kleinschalige landbouwproductie) zullen ook institutionele factoren, zowel op nationaal als op regionaal niveau, een rol spelen in de adoptie van de nieuwe technologie (Qaim et al. 2000; Evenson et al. 2002). Sterke bescherming met intellectuele eigendomsrechten en bijgevolg hogere prijzen voor ggo-zaadgoed, maar ook beperkte toegang tot informatie, krediet en infrastructuur kunnen een hinderpaal vormen voor boeren om een bepaalde technologie te gebruiken, ook al is die technologie geschikt voor kleinschalige landbouwpraktijken (bijvoorbeeld Qaim & de Janvry 2003; Thirtle et al. 2003; Qaim 2005; Edmeades & Smale 2006).

In het algemeen is de adoptiegraad van de herbicidentolerantie-technologie in de kleinschalige landbouw laag. Kleinschalige landbouwers gebruiken vaak amper chemische onkruidbestrijdingsmiddelen zodat de technologie voor hen niet geschikt is (Qaim 2009). Dit is anders voor de Bt-technologie. Zoals hoger aangehaald, bewerkt 90% van de boeren met ggo-gewassen in ontwikkelingslanden een areaal kleiner dan 2 hectare (McCouch & Crowell 2012). Het gaat dan voornamelijk om kleine boeren in China, India en Zuid-Afrika (Huang et al. 2002; Qaim et al. 2008). In China cultiveren ongeveer 7 miljoen kleine boeren (gemiddeld ongeveer 0,5 ha) Bt-katoen (McCouch & Crowell 2012). Ook in Indië, waar de katoenproductie ook voornamelijk in handen is van kleine boeren (gemiddeld ongeveer 1,5 ha), gebruikten in 2011 ongeveer 7 miljoen boeren de Bt-technologie, wat overeenkomt met een totale oppervlakte van meer dan 10 miljoen ha of 90% van de totale Indische katoenproductie (Kathage & Qaim 2012). Verschillende studies tonen bovendien aan dat de voordelen van de Bt-technologie voor kleine boeren van dezelfde grootteorde of zelfs groter zijn dan voor grootschalige producenten (Pray et al. 2001; Morse et al. 2004; Qaim et al. 2008). In de pers verschijnen regelmatig berichten over de negatieve impact die Bt-katoenproductie heeft op de kleinschalige landbouw en bijvoorbeeld over Indië zijn er verschillende rapporten die wijzen op een verband tussen de adoptie van de Bt-technologie in de katoenproductie en zelfmoorden bij landbouwers. Deze rapporten worden echter gecontesteerd, omdat er vragen zijn over de oorzaak-gevolgrelatie en ze zelden gebaseerd zijn op representatieve data (Qaim et al. 2006, 2008; Gruère et al. 2008; Gilbert 2013).

Er zijn slechts weinig studies die naast de impact op de boer zelf ook de impact op de plattelandseconomie in het algemeen nagaan. Eén dergelijke studie, die de impact van de adoptie van Bt-katoen op rurale tewerkstelling nagaat, toont aan dat de technologie een positief effect heeft op de tewerkstelling, voornamelijk voor vrouwelijke niet-familiale werkkrachten (Subramanian & Qaim 2009). Daarnaast heeft de adoptie van de technologie ook geleid tot een toename van de tewerkstelling in andere sectoren die niet gelinkt zijn aan de katoenproductie, zoals de handel- en dienstensector, maar verdere studie van deze effecten is nodig.

C. IMPACT OP GEZONDHEID, EEN SOCIO-ECONOMISCH PERSPECTIEF

Rechtstreekse en onrechtstreekse gezondheidsrisico's van ggo's zijn een belangrijke bezorgdheid. Er zijn echter ook potentieel belangrijke voordelen voor de gezondheid. Zoals hoger al aangehaald, kunnen herbicidentolerante en insectenresistente gewassen een positieve impact hebben op de gezondheid van de boer en zijn werkkrachten bij gebruik van minder en ook minder toxische pesticiden (Huang et al. 2005; Brookes & Barfoot 2012). Daarnaast worden zogenaamde tweedegeneratie-ggo-gewassen specifiek ontwikkeld met het oog op het verbeteren van de voedingswaarde en de gezondheid van de consument. Vooral in ontwikkelingslanden biedt de

productie van bepaalde 'biofortified' ggo-gewassen, zoals de 'gouden rijst' die verrijkt is met β-caroteen (pro-vitamine A) (grotendeels gefinancierd met publiek geld; www.goldenrice.org), perspectief op een verbetering in het tekort aan micronutriënten in de voeding van arme huishoudens (Bouis 2007). Een *ex ante* studie geeft aan dat de gouden rijst, die momenteel nog niet in productie is, de kosten verbonden aan vitamine A-tekort kan verminderen met ongeveer 60% (Stein et al. 2006). Op wereldvlak zouden de welvaartswinsten zo kunnen oplopen tot 15 miljard US$ per jaar, met de grootste effecten in Azië. Alleen al in China bijvoorbeeld zou de adoptie van deze variëteit kunnen leiden tot een stijging van 2% in het nationaal inkomen (Anderson et al. 2005). Hoewel de Aziatische overheden over het algemeen positief staan tegenover ggo's, wordt deze rijstvariëteit nog niet geteeld voor consumptie, maar veldproeven zijn aan de gang (www.goldenrice.org).

D. IMPACT OP DE LANDBOUWSECTOR EN VOEDSELKETEN

Verschillende studies hebben de algemene welvaartseffecten van de ggo-technologie geanalyseerd. Er wordt daarbij een onderscheid gemaakt tussen analyses voor (1) één markt of gewas ('partieële evenwichtsmodellen') of voor (2) verschillende markten en gewassen (indirecte en *spillover*-effecten, 'algemene evenwichtsmodellen').

Partiële evenwichtsmodellen tonen in het algemeen aan dat er aanzienlijke welvaartswinsten verbonden zijn aan de ggo-productie en dat de impact op de verschillende spelers in de voedselketen afhangt van het institutionele kader (bescherming van intellectuele eigendom). Typisch zal in landen met een sterke bescherming van intellectuele eigendom, zoals de VS of Spanje (ontwikkelde landen), een groter gedeelte van het surplus naar de eigenaars van de technologie (de chemiebedrijven) gaan dan in landen waar de bescherming van intellectuele eigendom zwak is, zoals China of Argentinië (ontwikkelingslanden) (bijvoorbeeld Moschini et al. 2000; Falck-Zepeda et al. 2000; Wu 2002; Demont & Tollens 2004; Demont et al. 2004, 2008; Qaim & Traxler 2005; Yorobe & Quicoy 2006; Hareau et al. 2006; Ramasamy et al. 2007).

Voor de Bt-katoenproductie in de VS werd in de late jaren negentig een totaal economisch surplus van ongeveer 164 miljoen US$ gerealiseerd, waarvan 37% naar de boeren, 18% naar de consumenten en 45% naar de eigenaars van de technologie (de chemiebedrijven) vloeide (Price et al. 2003; gelijkaardige resultaten werden in andere studies bekomen: Falck-Zepeda et al. 2000; Fernando-Cornejo 2006). Daarentegen ging in China in 1999 slechts 1,5% van het geschatte 140 miljoen US$ economisch surplus van de Bt-katoenproductie naar de eigenaars van de technologie (Pray et al. 2001).

De resultaten van de algemene evenwichtsmodellen suggereren eveneens aanzienlijke welvaartswinsten voor ggo-gewassen. Voor Bt-katoenproductie werden de globale welvaartswinsten geschat op 0,7 à 1,8 miljard US$ per jaar (bijvoorbeeld Anderson & Yao 2003; Elbehri & MacDonald 2004; Anderson et al. 2008; Huang et al. 2004; Fisvold & Reeves 2007). Voor ggo-rijst werd in 2005 een globale welvaartswinst verwacht van ongeveer 2,1 à 2,5 miljard US$ per jaar, met Indië en China als grootste uitschieters (Hareau et al. 2005). Voor de ggo-rijstproductie verwachtten Huang et al. (2004) dat de welvaartswinst in China de kaap van 4 miljard US$ kan bereiken in het geval verschillende ggo-technologieën worden gebruikt. Voor genetisch gewijzigde oliehoudende zaden en maïs is de internationale markt groter en zijn de verwachte welvaartseffecten dus ook groter. In het

geval van een wereldwijde adoptie van herbicidentolerante en insectenresistente oliehoudende zaden en maïs zouden de jaarlijkse welvaartswinsten kunnen oplopen tot ongeveer 10 miljard US$ (Nielsen & Anderson 2001).

9. ETHISCHE ASPECTEN

Het debat rond ggo's draait rond een aantal belangrijke ethische vragen. Vooral de groene biotechnologie en het gebruik van genetisch gemodificeerde planten in de landbouw en de voedselketen zijn omstreden omdat mensen er verschillende visies inzake 'natuur' op nahouden. De controverse over ggo-gewassen berust dan ook op verschillende, onderling onvergelijkbare waardenkaders, voornamelijk met betrekking tot de inschatting van de bijdrage van ggo's tot de voedselzekerheid en meer duurzame landbouw, en de waardering van 'natuurlijkheid'. Bovendien volgen mensen ook verschillende ethische argumentatiestrategieën en wordt de discussie verder gevoed door onduidelijkheid over de vraag of ggo-gewassen op lange termijn schadelijk zijn voor het milieu en voor de mens.

Een verschillende inschatting van de mogelijke gevolgen (het nut of de risico's) van ggo's kan leiden tot een zeer verschillende houding. Tegenstanders zijn bijvoorbeeld bezorgd dat transgenen die in het DNA van ggo's worden ingebouwd, via horizontale gentransfer wilde populaties kunnen contamineren, dat het gebruik van herbicidentolerante gewassen kan leiden tot grootschalig gebruik van totaalherbiciden, en dat toxines geproduceerd door ggo-gewassen in het voedselsysteem terechtkomen en daar niet-doelorganismen kunnen affecteren. Voorstanders motiveren hun keuze dan weer door te stellen dat we via deze technologie doelgerichter, specifieker en sneller gewenste kenmerken kunnen inkruisen, dat het gebruik van herbicidentolerante gewassen kan bijdragen tot een verhoogde biodiversiteit, en dat insect- en virusresistente gewassen minder nood hebben aan pesticiden en aldus ook minder bijdragen tot de uitstoot van broeikasgassen. Sommige ggo-toepassingen kunnen in die redenering een belangrijke bijdrage leveren tot een meer milieuvriendelijke en duurzame land- en tuinbouw, en zeker in de context van klimaatwijzigingen. Afwegingen over de al of niet gewenste potentiële gevolgen van het gebruik van ggo-gewassen leiden vaak tot een *ad hoc* aanvaarding of afwijzing van concrete toepassingen. Illustratief voor dit debat is de discussie die Nobel-laureaat Norman Borlaug veroorzaakte (*Wall Street Journal*, 6 december 2000) door te verklaren "We need Biotech to Feed the World".

In tegenstelling tot zij die het standpunt verdedigen dat de ethische evaluatie vooral over de gevolgen van het gebruik van ggo-gewassen moet gaan, vragen anderen zich af of de techniek van modificatie van gewassen op zich wel moreel toelaatbaar is. Zij doen hiervoor beroep op argumenten die verwijzen naar de integriteit en de 'waardigheid' van planten of naar een soort van essentialistische kijk op een 'natuurlijke orde' die niet mag worden verstoord. Wie principieel de techniek ter discussie plaatst vanuit culturele of religieuze tradities, spreekt over menselijke hoogmoed (*hubris*) en een niet-respectvolle en niet-wijze omgang met de natuur.

Achter deze twee types van morele bezorgdheid schuilen verschillende prominente ethische denkstrategieën: (1) wie kiest voor een afwegingsstrategie, ontwikkelt een consequentialistische kosten-batenanalyse; (2) wie de morele toelaatbaarheid van genetische modificatie 'principieel' ter discussie stelt, volgt een deontologische denkstrategie.

(1) Wie consequentialistisch redeneert, beoordeelt de toelaatbaarheid van een handeling in het licht van de gevolgen of consequenties die de handeling teweegbrengt en verbindt die met waarden die hij/zij belangrijk vindt (bijvoorbeeld voedselzekerheid, voedselveiligheid, duurzame voedselproductie, enz.). Met het oog op de beste uitkomst (bijvoorbeeld zoveel mogelijk voedselzekerheid realiseren, de voedselproductie zoveel mogelijk verduurzamen) zal een consequentialist de voor- en nadelen van verschillende handelingsopties tegen elkaar afwegen. Hij kiest die actie die het best tegemoet komt aan de waarde die hij vooropstelt. Wie een ecologisch duurzame voedselproductie zeer belangrijk acht en niet principieel gekant is tegen biotechnologie (en de ermee gepaard gaande grootschaligheid van de landbouw), zal zo mogelijker positief staan ten opzichte van virus- en insectresistentie en negatief ten opzichte van herbicidentolerantie, omdat het gebruik van totaalherbiciden bezwaarlijk een meer duurzame handelingsoptie kan genoemd worden. Consequentialisten aanvaarden ook *trade-offs* tussen alternatieve acties, met als doel het maximaliseren van zoveel mogelijk voldoening in relatie tot een specifieke waarde voor het grootste aantal mensen. De afweging hangt dus af van de waarden die men vooropstelt. Wie bijvoorbeeld antropocentrisch redeneert en daarom voedselzekerheid (honger vermijden) prioritair vindt, zal voorstander zijn van het gebruik van ggo-toepassingen die daartoe een specifieke bijdrage leveren (bijvoorbeeld droogtetolerantie, efficiëntere bestrijding van schurft in appels of aardappelrot bij opslag), althans als de eventueel nadelige langetermijneffecten de kortetermijneffecten niet opheffen. In die zin stelt de Nuffield Council on Bioethics (2003): "(…) there is an ethical obligation to explore these potential benefits responsibly, in order to contribute to the reduction of poverty, and to improve food security and profitable agriculture in developing countries."

Wie meer specifiek rechtvaardigheid belangrijk vindt, kan focussen op vier aspecten: (i) het basisrecht van mensen op voldoende en gezond voedsel (voedselzekerheid); (ii) het recht beschermd te zijn tegen persoonlijke schade die het gevolg is van risico's en onveiligheid (voedselveiligheid); (iii) het democratische recht om zijn eigen leefstijl met inbegrip van voeding te ontwikkelen, en (iv) sociale en economische rechten, bijvoorbeeld distributieve rechtvaardigheid. Een voorbeeld van het laatste type is het feit dat sommige burgers zich storen aan de disproportionele impact die de commerciële *biotech*sector, hierin ondersteund door patentregelgeving rond transgene zaden, op zowel de landbouwers in noord en zuid als de voedselconsumenten kan hebben. Zelfs een voorstander van ggo's zoals Norman Borlaug was bekommerd dat het patentsysteem armen dreigt uit te sluiten van de voordelen van ggo's. Niet enkel wordt er minder selectieonderzoek gedaan naar niet-commerciële maar voor de lokale voeding wel interessante variëteiten, maar de hybride-technologie (niet noodzakelijk ggo) maakt het gebruik van goedkope zaden uit herzaai onmogelijk. Hier wordt niet de biotechnologie als techniek ter discussie gesteld, wel de verschuivingen in machtsrelaties die commerciële toepassingen teweeg brengen.

(2) Wie deontologisch denkt, beoordeelt de 'kwaliteit' van de specifieke actie of technologie zelf. Dit betekent dat sommige handelingen op zich juist of verkeerd zijn en bijgevolg moreel (on)aanvaardbaar. Dit gebeurt vaak op basis van een regel of een principe dat onverkort wordt gehandhaafd. Afwegingsprocessen krijgen in deontologische denkstrategieën over het algemeen minder of geen aandacht. Het spreken over 'natuurlijkheid' is hiervan een goed voorbeeld. Natuurlijkheid kan verbonden worden met wildheid, maar kan ook bepaald worden als een proceskwaliteit. We spreken bijvoorbeeld over 'natuurlijke voeding'. 'Natuurlijk' wordt hier gebruikt voor handelingen die min of meer in harmonie zijn met de natuur of een normale gang van zaken betreffen. De veronderstelling is dan dat 'natuurlijk' minder schade oplevert voor zowel de natuur als

de mens. Men verwijst dan bijvoorbeeld naar het autonoom functioneren van ecosystemen (biologische landbouw), minder invasief optreden of een lagere interventiegraad. We handelen in die redenering 'tegennatuurlijk' als we het functioneren van planten en hun specifieke eigenschappen beknotten of veranderen, soortgrenzen overschrijden of gebruik maken van teveel *inputs*.

De impact van het deontologische denken verklaart waarom de EU in haar biotechnologiebeleid focust op de technologie en de voorkeur geeft aan het voorzorgsprincipe, terwijl de VS focust op productveiligheid (het resultaat) en zweert bij 'sound science'. Deze polarisatie is ook herkenbaar tussen de twee regelgevende kaders, enerzijds deze die focussen op milieuduurzaamheid en sociale rechtvaardigheid (bijvoorbeeld het Cartagena Protocol[42]) en gebruik maken van het voorzorgsprincipe, anderzijds deze die de harmonisatie van internationale standaarden op basis van 'sound science' beogen (bijvoorbeeld de Codex Alimentarius[43]).

In deze context stippelde de EU een 'informed consent' benadering uit die de autonomie van de consument, *in casu* het recht op persoonlijke voedselkeuzes, moet beschermen. Keuzevrijheid op basis van labeling (informatie) en herkomsttracering zijn daarvan het gevolg. De introductieplicht van labels zorgde ervoor dat het accent in principe werd verlegd van een wetenschappelijk gefundeerde kijk op voedselveiligheid en nutritionele waarden naar productieomstandigheden en methoden waarover de burger in alle vrijheid kan oordelen.[44]

10. PERCEPTIE EN COMMUNICATIE. WAAROM VERLOOPT DIT DEBAT ZO MOEIZAAM?

Het is duidelijk dat in complexe debatten zoals dit, waarbij het ook gaat over zeer gevoelige onderwerpen zoals voeding en gezondheid en waarbij opinies en overtuigingen vaak lijnrecht tegenover elkaar staan, informatie, communicatie en perceptie een zeer grote rol spelen. Vanzelf rijst dan in de eerste plaats de vraag naar de rol van de media. Hoewel de toegang tot informatie nooit groter is geweest, lijkt dit lang geen garantie voor een volledig en correct geïnformeerde consument. De populaire media bepalen in grote mate welke informatie bij het grote publiek terechtkomt en op welke manier, en daarbij spelen een aantal interessante dynamieken (McCluskey & Swinnen 2004; 2011). Naast het zoeken naar de grootste nieuwswaarde en de druk om dat nieuws als eerste te brengen, zorgen deadlines (de vraag naar *instant* berichtgeving de klok rond), beperkte middelen en de noodzakelijke bondigheid voor een zekere selectiviteit, die het soms moeilijk maakt om genuanceerd en kritisch te rapporteren. In bepaalde gevallen is het ook niet uitgesloten dat belangen en beïnvloeding een rol spelen. Opmerkelijk is echter dat de consument door zijn continue honger naar nieuws het risico op foute of ongenuanceerde informatie voor lief lijkt te nemen; elk

[42] Het Cartagena Protocol inzake Bioveiligheid (CPB) is een dochterprotocol van de VN Conventie inzake Biologische Diversiteit en is in de eerste plaats gericht op het beperken van nadelige gevolgen van de moderne biotechnologie voor het behoud en het duurzame gebruik van de biologische diversiteit.

[43] De Codex Alimentarius is een VN-forum onder de vlag van de Internationale Voedsel- en Landbouworganisatie van de Verenigde Naties (FAO) en de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) dat internationale normen ontwikkelt voor voedselproducten, met als doel de internationale volksgezondheid te beschermen en de eerlijkheid van de handel in voedselproducten te bevorderen.

[44] Voor een beschouwing van de mogelijke rol van labeling in verantwoorde/verantwoordelijke consumptie, zie De Tavernier (2012).

nieuws is beter dan geen nieuws. Een probleem daarbij is natuurlijk dat latere correctie of nuancering door de lagere nieuwswaarde vaak veel minder aandacht krijgt.

Daarnaast zijn veel consumenten ook in zekere zin rationeel of bewust onwetend. Dit kan onder meer worden toegeschreven aan de (te) hoge kost aan tijd en energie (en soms ook geld) om zich degelijk te informeren in vergelijking met de lage risicoperceptie; we kunnen er in principe voor kiezen bepaalde voedingsproducten gewoon niet te kopen.

In die context is het ook opvallend hoe de aard van de informatie een belangrijke rol speelt. Zo wordt veel meer waarde gehecht aan negatieve informatie omdat het belang daarvan uiteraard potentieel veel groter is en het evolutionair gezien ook logisch is dat we daar alerter voor zijn. Dit is in de psychologie bekend als de 'negativity bias' en werkt waarschijnlijk ook negatieve berichtgeving in de hand. Hoewel de effecten van incidenten op de markt vaak van tijdelijke aard zijn, kunnen daaropvolgende (soms emotionele of impulsieve) maatregelen wel langdurige effecten hebben op beleid en regelgeving.[45]

Wij zijn dus van nature alert voor directe gevaren en het is dan ook niet verwonderlijk dat gezondheid, naast ethische en daarmee samengaande gevoelsmatige bezwaren, in het ggo-debat de belangrijkste factor is voor de gemiddelde consument. Daar wordt dan ook vaak door fervente tegenstanders (al dan niet om strategische redenen) en in de berichtgeving (deels dus omwille van de vraag) op ingespeeld. De mogelijk relevantere milieu- en socio-economische impact van ggo's op langere termijn, vaak letterlijk verder van ons bed, lijken een minder belangrijke rol te spelen in de perceptie en meningsvorming van het brede publiek. Een bijkomende factor is ongetwijfeld de evidente beschikbaarheid van voeding en een beperkte voeling met de productie ervan. Daarnaast is voedsel bij ons, in vergelijking met ontwikkelingslanden, ook zeer (en mogelijk te) goedkoop. Ook bij de aankoop van bioproducten is persoonlijke gezondheid voor de consument vaak het belangrijkste argument.

Ten slotte blijkt ook vooringenomenheid een grote rol te spelen. Vaak zoeken we in de berichtgeving naar confirmatie van onze mening of overtuiging en beoordelen we op basis daarvan ook de kwaliteit van de informatie. Dit is ongetwijfeld een belangrijke dynamiek bij de verschillende betrokken partijen en een complicerende factor in het debat rond ggo's. Afhankelijk van de bron worden bovendien al dan niet terecht (verborgen) belangen vermoed bij de verschillende kampen.

Perceptie en moeizame communicatie spelen ook op andere niveaus een belangrijke rol in dit debat. Zo bestaat er bijvoorbeeld een grote afstand tussen de leefwereld van de wetenschapper en die van de landbouwer: zeer gecontroleerde wetenschap in nette laboratoria tegenover de eerder onvoorspelbare landbouw in aarde, weer en wind. Ggo-gewassen zijn dan ook het resultaat van het samenspel van totaal verschillende werelden. Het falen van de Flavr Savr tomaat, het eerste commerciële ggo-gewas dat in 1994 kortstondig op de markt werd gebracht in de VS door Calgene, is daar een mooie illustratie van. Ondanks de knappe technologie heeft het gebrek aan praktische kennis van teelt, distributie en markt daar geleid tot een mislukking.

Vaak bestaat er een zekere achterdocht voor de 'wereldvreemde' wetenschapper en ongetwijfeld wordt omgekeerd door wetenschappers ook wel eens meewarig gedaan over de 'onwetende leek'.

[45] Zie bijvoorbeeld de dioxinecrisis.

Beide groepen hanteren dan ook zeer verschillend denkkaders: wetenschappers denken (om praktische redenen, en bijna per definitie in het geval van de moleculaire en celbiologie) vaak 'reductionistisch'[46] terwijl (bio)landbouwers 'holistisch' (moeten) denken. Hiermee samenhangend ook een overtuigd geloof in de vooruitgang tegenover een eerder veilig-conservatieve praktische houding. Deze volledig andere denkkaders en (ook letterlijk) andere taal maken de communicatie moeilijk, ook met de consument. Bij het bredere publiek leeft mogelijk ook, al dan niet bewust, de idee van het failliet van het vooruitgangsdenken.[47] Onze wereld lijkt dan toch niet helemaal 'maakbaar' en met een toenemende kennis worden een aantal problemen blijkbaar niet kleiner. Dit gaat ook vaak gepaard met een nostalgie naar vroegere, maar zelden betere tijden. In tijden van economische crisis is dit aanvoelen misschien nog meer uitgesproken.

Ggo-gewassen worden bovendien vaak ontwikkeld en op de markt gebracht door grote multinationale (in essentie vaak chemie-) bedrijven, ook weer met hun eigen bedrijfscultuur. Uiteraard is het maken van winst voor een bedrijf een van de prioriteiten, maar ook binnen dergelijke ondernemingen moeten verschillende culturen (management en wetenschap) met elkaar in overeenstemming gebracht worden. Ook de link tussen bedrijven en academische wetenschappers is niet altijd evident en leidt blijkbaar soms tot de perceptie dat deze laatsten marionetten zijn van het bedrijfsleven.

Naast zeer verschillende belangen gaat het hier dus ook over het botsen van zeer verschillende werelden. Dan rijst de vraag of en hoe een constructieve dialoog toch mogelijk is. Begin de jaren negentig zette de Duitse wetenschapper Wolfgang van den Daele een sociologisch experiment op waarbij hij de vijandelijke partijen in het ggo-debat, weg van het publieke rumoer, verplichtte tot dialoog (rond de ontwikkeling van herbicidetolerante gewassen als specifieke *case*) en de deelnemers aanzette tot het zoeken naar en erkennen van de grenzen van feitelijk kennis en opinie. Dit bleek een zeer confronterende oefening, waarbij de vooringenomenheid en overtuiging aan beide kanten het uiteindelijk haalden van algemeen erkende rationele argumenten.[48] Anderzijds is na jaren van discussie ook een duidelijk trend waar te nemen naar een al even weinig constructieve gelatenheid. Dit debat is echter veel te belangrijk en de problematiek zal niet verdwijnen, integendeel. Hierbij is een belangrijke taak weggelegd voor de universiteit als kenniscentrum waar de verschillende disciplines die hierbij aan bod komen gemakkelijker kunnen worden geïntegreerd. Daarnaast moet ook de vraag gesteld worden naar de taak van de overheid in dit debat en waarom die hier een nogal vage rol lijkt te spelen in een materie die zo fundamenteel belangrijk is als onze voedselvoorziening. De vraag is uiteraard ook of de lokale overheid überhaupt een rol van betekenis kan spelen in een mondiale problematiek en dynamiek.

11. GGO'S IN EEN COMPLEXE REALITEIT: EEN SYNTHESE

Door de sterk toenemende populatie en levensstandaard maar beperkte draagkracht (ruimte en natuurlijke grondstoffen) van onze planeet, staan we voor de gigantische uitdaging om de productie van voedsel en energie in de komende decennia significant te verhogen op een duurzame manier.

[46] Hoewel er nu door de technische vooruitgang in dataverwerving en -analyse en betere inzichten meer en meer integrerend en systeembiologisch wordt gedacht.
[47] Bijvoorbeeld *De geschiedenis van de vooruitgang.* Rutger Bregman. De Bezige Bij, 2013.
[48] http://skylla.wzb.eu/pdf/1997/ii97-302.pdf.

Hoewel factoren zoals een onvoorspelbaar veranderend klimaat, de noden van de toekomstige bio-gebaseerde economie (met productie van hernieuwbare energie en grondstoffen uit biomassa) en sociale ongelijkheid en conflicten niet volledig in rekening (kunnen) worden gebracht, is er nog ruimte voor duurzame groei.[49] Een efficiëntere landbouw (met beter water- en nutriëntbeheer) en een verhoogde gewasefficiëntie op het bestaande areaal kunnen in principe, in combinatie met het wijzigen van onze voedingspatronen[50] en het reduceren van overschotten en afvalstromen (naar schatting een derde van alle voedsel wordt niet geconsumeerd), de voedselproductie verdubbelen en tegelijk de impact van de landbouw op het milieu verminderen (Foley et al. 2011). Ook zonder deze bevolkingsgroei zijn drastische wijzigingen nodig, omdat de conventionele industriële landbouw zoals die momenteel wordt geïmplementeerd een grote impact heeft op het milieu en niet duurzaam is.

In het verleden heeft het invoeren van nieuwe technologieën een belangrijke rol gespeeld in het verhogen van de voedselproductie, zoals bij de Groene Revolutie in de jaren zestig en zeventig, toen naast een doorgedreven mechanisatie en irrigatie het invoeren van meststoffen, bestrijdingsmiddelen en nieuwe (vaak hybride) cultivars de opbrengst per hectare spectaculair verhoogden. De ontwikkeling van de gentechnologie en de eerste ggo-gewassen kwamen met de grote belofte van een tweede, meer duurzame groene revolutie, maar hoewel ggo's nu al groeien op 170 miljoen hectaren wereldwijd (wat het een van de snelst geadopteerde nieuwe technologieën maakt), lijkt de belofte van een duurzame voedselproductie lang niet ingelost. De markt wordt momenteel gedomineerd door slechts enkele insectenresistente en herbicidentolerante gewassen; de voordelen voor het milieu, de telers en de consumenten zijn vaak omstreden; en er heerst een sterk gepolariseerd publiek debat en een op zijn minst onduidelijke en verdeelde politiek.

A. BELOFTE EN REALITEIT

Gedreven door economische wetmatigheden is de groene biotechnologie reeds vroeg de richting ingeslagen van de agro-industrie, met landbouwkundige toepassingen zoals insectenresistentie en herbicidentolerantie. In principe bieden deze toepassingen niet enkel voordeel voor de producent (bij herbicidentolerantie ook door de koppeling aan de verkoop van een specifiek herbicide[51]), maar ook voor het milieu (minder gebruik van pesticiden in het geval van insectenresistente gewassen; minder erosie-bevorderende grondbewerking en verlaagde milieu-impact door het gebruik van biologisch goed afbreekbare herbiciden in het geval van herbicidentolerante gewassen) en voor de landbouwer (vereenvoudiging van het werk, verhoogde opbrengsten en winsten; ook voor de kleine boer in het geval van insectenresistentie, waarbij de investering beperkter is).

[49] Beperking van de bevolkingstoename heeft uiteraard een zeer grote impact, maar stelt een aantal pertinente ethische vragen. Bovendien blijkt dit ook een zelfregulerend proces, dat onder meer gerelateerd is aan levensstandaard, opleidingsniveau en verstedelijking. Projecties voorspellen een piekende populatie van 9,3 miljard mensen in 2050 (*Science special issue on population* 2011). Naast de grootste bevolkingsgroei in ontwikkelingslanden voorspellen modellen ook de grootste negatieve impact van klimaatsverandering op gewasopbrengsten in deze zuidelijke regio's (Wheeler and von Braun 2013). Klimaatsverandering wordt bovendien gekoppeld aan een toename van gewelddadige conflicten (Hsiang et al. 2013), die op hun beurt leiden tot voedselschaarste.

[50] Een verhoogde levensstandaard gaat vaak gepaard met een verhoogde consumptie van dierlijk voedsel dat veel ruimte-, grondstof- en energie-intensiever is dan plantaardig voedsel.

[51] Het octrooi voor glyfosaat van Monsanto (verkocht onder de naam Roundup) is sinds 2000 verlopen, waardoor glyfosaat in principe ook door andere bedrijven op de markt kan worden gebracht.

De huidige teelten bieden dus bepaalde voordelen, maar deze 'eerstegeneratie'-ggo-gewassen genereren ook specifieke problemen en risico's. Hoewel de technologie zich razendsnel blijft ontwikkelen, valt er nog zeer veel vooruitgang te boeken in de efficiëntie en veiligheid, bijvoorbeeld door het inbouwen van verschillende additionele barrières als bescherming tegen ongewenste milieueffecten via gentransfer. Een leer- en groeifase is uiteraard eigen aan alle nieuwe technologieën, maar de snelheid en schaal waarmee ggo's geïmplementeerd worden in de landbouw is erg groot. Het is daarom belangrijk om steeds te kijken of nieuwe inzichten toelaten de veiligheid van ggo-gewassen te verhogen. Het potentieel van de nieuwere generaties ggo-gewassen is wat dat betreft erg hoog, omdat ze bijvoorbeeld (1) tegemoetkomen aan erg relevante uitdagingen zoals stresstolerantie, efficiënt water- en nutriëntgebruik (voedselzekerheid), maar ook verhoogde voedingswaarde (biofortificatie) of voedselkwaliteit; (2) eerder consumentgericht zijn; (3) verschillende eigenschappen combineren; (4) een slimmere aanpak gebruiken met kleinere risico's, waarbij bijvoorbeeld de natuurlijke verdedigingsmechanismen van de plant worden versterkt in plaats van vreemde genen uit andere organismen over te brengen en waarbij bijkomende systemen voorzien worden om het verspreiden van de gewassen en de heterologe genen tegen te gaan; omdat ze (5) ook minder commerciële teelten met grote lokale impact omvatten, zoals maniok of banaan; en (6) de nieuwste, meer gerichte genoom 'editing' technologieën gebruiken, waarvan de resultaten dichter aanleunen bij die van natuurlijk voorkomende processen en variatie. Dergelijke toepassingen en technologieën kunnen bovendien bijdragen tot een meer positieve perceptie of acceptatie door de consument en (in het geval van de nieuwe technologieën) mogelijk tot een meer eenvoudige regelgeving. Anderzijds is het wel duidelijk dat de nood aan een goede, sluitende regelgeving behouden blijft zodat te grote risico's vermeden worden.

B. EVALUATIE: OMGAAN MET RISICO'S

In de evaluatie van (nieuwe) toepassingen is het omgaan met onbekende factoren en risico's ongetwijfeld de grootste uitdaging en een belangrijke bron van de controverse rond ggo's. Daarbij moet enerzijds worden aanvaard dat een bewijs van de afwezigheid van risico's per definitie niet mogelijk is en dat risico's moeten kunnen worden aanvaard en ook moeten worden afgewogen tegenover de voor- en nadelen van alternatieven. Anderzijds is het belangrijk dat de risico's zo laag mogelijk worden gehouden en dat al te grote risico's geheel worden vermeden. Het is daarbij nuttig om de potentiele risico's van ggo's op te delen in twee categorieën: (1) gezondheidsrisico's en (2) risico's voor het milieu en de biodiversiteit.

Hoewel potentiële gezondheidsrisico's vaak een rol spelen in de negatieve houding van consumenten tegenover ggo's, berust de vrees daarvoor vaak op foutieve informatie en een gebrek aan kennis. Terwijl consumenten vaak (onterecht) vrezen ziek te kunnen worden van het eten van ggo's omdat deze 'vreemd DNA' bevatten, zijn de reële risico's die gepaard gaan met de consumptie van (goed ontworpen) ggo's wellicht eerder beperkt tot de aanwezigheid van onbekende allergenen. Dit risico bestaat evengoed voor conventionele gewassen. De procedures die gevolgd worden om de gezondheid van ggo's te garanderen zijn vaak uitgebreider dan die voor conventioneel voedsel en lijken dan ook voldoende om de consument te beschermen. Tot nu toe zijn er ook nog geen gevallen bekend waarbij het consumeren van ggo's geleid heeft tot gezondheidsproblemen.

Voor milieurisico's en de impact op biodiversiteit ligt het verhaal moeilijker. Het is hier nuttig om eerst een onderscheid te maken tussen risico's die specifiek aan de techniek zijn gebonden en risico's

die er vaak mee geassocieerd zijn maar niet per definitie een direct verband houden met de techniek van genetische modificatie. In deze laatste groep zitten de milieurisico's die verbonden zijn aan de grootschaligheid en de industrialisatie van de landbouw. Mits bijsturing kunnen deze in principe losgekoppeld worden van de techniek van genetische modificatie op zich, en we bespreken deze risico's dan ook niet nader – waarmee we geenszins willen aangeven dat deze risico's niet belangrijk zouden zijn.

Onder risico's die specifiek met de techniek verbonden zijn, groeperen we alle risico's die het gevolg zijn van het proces van modificatie zelf of van het type genen (eigenschappen) dat kan worden toegevoegd. Vaak immers krijgen teeltgewassen eigenschappen via genetische modificatie die via een andere weg nooit zouden kunnen worden gerealiseerd. Als deze genen echter via genoverdracht in andere genomen terechtkomen, is de resulterende schade wel een rechtstreeks gevolg van het gebruik van ggo's. Deze risico's impliceren een intrinsiek probleem. Hoewel de kans op genoverdracht, hybridisatie en eventueel introgressie (een meer blijvende incorporatie van genen over meerdere generaties) doorgaans heel gering is en sterk afhankelijk van het specifieke gewas en transgen (Stewart et al. 2003), wordt deze kans, gecombineerd met een zeer groot areaal aan ggo's, een reëel en aanzienlijk risico. De gevolgen van een dergelijke ongewenste gentransfer kunnen soms groot zijn, bijvoorbeeld wanneer een 'superonkruid' zou ontstaan. Hierbij zijn de kansen op problemen eerder gering, maar de potentiële gevolgen groot (risico kan worden gedefinieerd als kans vermenigvuldigd met potentiële schade). De vergelijking met het probleem van invasieve soorten is illustratief: men schat dat slechts ca. 1 op de 1000 ingevoerde soorten voor grote problemen zorgt, maar toch wordt het voorkomen van invasieve exoten vrij algemeen erkend als één van de vijf belangrijkste oorzaken van de achteruitgang van biodiversiteit (Meffe & Caroll 1997; Keller et al. 2011; Simberloff et al. 2013). We mogen ons dus niet blindstaren op de schijnbaar zeer lage risico's zoals bepaald in studies die één of enkele hectaren teelt hebben opgevolgd. Er moet bijgevolg sterk geïnvesteerd worden in het ontwikkelen van de technologie om verspreiding van transgenen zo goed als onmogelijk te maken, ook als er miljoenen hectaren worden geteeld. Dit wordt belangrijker naarmate de ggo-gewassen grotere *fitness*voordelen hebben, bijvoorbeeld bij verhoogde droogte- of ziekteresistentie. Technologie genereert daarbij meer zekerheid dan protocollen voor het gebruik van ggo's. Bufferzones zullen wellicht altijd belangrijk blijven, maar het is essentieel om de nodige technologische beveiligingen in te bouwen voor het geval dat individuele telers de protocollen niet correct implementeren.

Het is dus belangrijk om een onderscheid te maken tussen de technologie, de specifieke toepassing of het product (de nieuwe eigenschappen of 'traits') en het landbouwsysteem waarbinnen deze worden gebruikt (waarbij specifieke ggo-toepassingen een aantal risico's zouden kunnen aanscherpen). Een *case-by-case* benadering is daarom essentieel.

De huidige manier van evalueren in de EU is gebaseerd op het voorzorgsprincipe, met de focus op de veiligheid voor gezondheid en milieu (de mogelijke kosten). Aangezien geen enkele technologie zonder risico's is, is het belangrijk een volledige kosten-én-batenanalyse te maken, waarbij ook de vergelijking moet worden gemaakt met zowel de huidige conventionele teelten als met andere alternatieven. Zo is enig risico misschien wel verantwoord op de voorwaarde dat de voordelen voldoende groot zijn, bijvoorbeeld met betrekking tot het verhogen van de voedselzekerheid of de nutritionele kwaliteit.

Zo zijn de baten van de gouden rijst (Burkhardt et al. 1997; Paine et al. 2005) duidelijk te kwantificeren en hoog, terwijl de risico's laag lijken, omdat er geen duidelijk *fitness*voordeel is voor planten met een verhoogd gehalte aan β-caroteen of provitamine A (en er bij gentransfer dus weinig kans is op de creatie van een superonkruid). Uiteraard moet ook deze toepassing worden gecontroleerd en opgevolgd voor eventuele onvermoede milieueffecten, maar ze vormt een mooi voorbeeld van een toepassing met een duidelijk positieve balans. Gouden rijst bevat verschillende transgenen uit andere soorten (uit narcis en een bodembacterie) en is dus onmiskenbaar een product van genetische modificatietechnologie. Het lijkt onwaarschijnlijk dat door traditionele inkruising een product met een dergelijke sterk verhoogde voedselkwaliteit zou kunnen worden gegenereerd.[52]

Insectenresistente ggo-teelten (waarbij de planten zelf insecticide toxines produceren tegen bepaalde klassen van insecten) hebben dan weer een duidelijk voordeel in opbrengst en leiden, althans indien correct gebruikt, tot een verlaagd gebruik van pesticiden, een voordeel voor boer en milieu. Hier zijn echter wel belangrijke potentiële risico's aan verbonden. Zo is er een verhoogd risico op de ontwikkeling van resistentie bij pestsoorten bij continue blootstelling (een continue productie van de toxines doorheen de hele plant, met wortelsecretie in de bodem). Bovendien is er een beperkt maar reëel (soortafhankelijk) risico op gentransfer naar verwante soorten, wat in dit geval wel zou kunnen leiden tot een belangrijk *fitness*voordeel bij onkruiden en een ongecontroleerde verspreiding van het betrokken insecticide.

De DuRPh-aardappel met een duurzame resistentie (en bijgevolg significant verlaagd gebruik van fungiciden) tegen *Phytophthora*, de pathogeen verantwoordelijk voor de aardappelziekte, is dan weer een voorbeeld van cisgenese. Hierbij werden meerdere soorteigen resistentiegenen uit wilde aardappelvariëteiten overgebracht naar een variëteit die beter geschikt is voor commerciële teelt en consumptie. De aanwezigheid van meerdere resistentiegenen (coderend voor eiwitten die de pathogeen herkennen en zo de immuunrespons in gang zetten) verlaagt bovendien de kans op of vertraagt het ontwikkelen van resistentie, zoals die ook bij wilde planten (in de continue evolutionaire wapenwedloop tussen pathogenen en gastheren) ontstaat.[53]

Als laatste voorbeeld beschouwen we ten slotte herbicidentolerantie, veruit de meest geteelde ggo-toepassing. Het belangrijkste voordeel van deze teelten is ongetwijfeld dat ze kostenbesparend zijn. De ecologische voordelen, namelijk het verminderd gebruik van pesticiden die bovendien beter biologisch afbreekbaar zijn (en een verminderde mechanische onkruidbestrijding en bodemerosie), worden door sommige studies gecontesteerd. Vooreerst is een correct gebruik vereist en bovendien

[52] Deze toepassing is ook grotendeels gerealiseerd met publieke gelden en zal vrij beschikbaar zijn voor de armere boeren. Toch zijn de kritieken hier ook eerder gericht op het landbouwmodel aangezien tekorten aan vitaminen en essentiële mineralen in ontwikkelingslanden gekoppeld zijn aan armoede en mogelijk ook symptomatisch voor de industriële voedselproductie met beperkte diversiteit (zie ook C. Ggo's en het landbouwsysteem, p. 72). Bovendien wordt ook vaak geargumenteerd dat supplementatie van vitaminen eenvoudige en efficiënter op andere manieren kan gebeuren.

[53] De veldproeven van 2011 in Wetteren met Phytophthora-resistente genetisch gemanipuleerde aardappelen haalden het nieuws door acties van de Field Liberation Movement (FLM) waarbij schade werd toegebracht aan wettelijk goedgekeurde veldproeven. Het protest was niet enkel gericht tegen deze ggo's zelf, maar ook tegen het gelijktijdige testen (onder een aparte vergunning) van de marktrijpe resistente Fortuna-aardappel van BASF Plant Science. Het ging hier, naast kritiek op het industriële landbouwsysteem, ook over de vermeende compromittering van de onafhankelijkheid van het wetenschappelijk onderzoek (zie ook D. Keuzevrijheid van consument en producent, p. 74).

wordt door een aantal studies aangetoond dat het herbicide glyfosaat (overigens ook gebruikt bij conventionele teelten) zelf misschien niet helemaal zo onschadelijk is als eerst aangenomen (Cuhra et al. 2013). Er zijn duidelijke risico's, met name het optreden van resistentie (door het grootschalige gebruik van één specifiek type totaalherbicide in plaats van de klassieke combinaties) en een kleine maar reële kans op het ontstaan van superonkruiden bij gewassen met wilde onkruidverwanten.

We staan dan ook een systematische, rationele en wetenschappelijke benadering voor waarbij baten (of zelfs noden) en risico's zo goed mogelijk gekwantificeerd en afgewogen worden. We pleiten er daarbij ook voor om naast veiligheid (voor milieu en gezondheid) ook ecologische en socio-economische duurzaamheid te gebruiken als expliciet criterium bij de evaluatie van nieuwe toepassingen. Daarbij zou men de technologie (het proces) zelf buiten beschouwing moeten kunnen laten, en zich toespitsen op de risico's en baten van het ingebrachte kenmerk en de resulterende teelt (het product). Uiteraard laat genetische modificatie een bredere waaier aan kenmerken toe en dat kan risico's met zich meebrengen, maar of een kenmerk via genetische modificatie is ingebracht dan wel via inkruising speelt eigenlijk geen rol wanneer men naar de baten en risico's kijkt. Dankzij de steeds evoluerende technologie kan men bovendien de risico's actief verlagen, door bijvoorbeeld meerdere technologische barrières in te bouwen die gentransfer moeten tegengaan. Dit kan de ontwikkeling van ggo-teelten duurder maken, maar anderzijds kan het de voorwaarde zijn voor het daadwerkelijk implementeren van de teelt, omdat anders de risico's te hoog worden geacht ten opzichte van de baten.

De hierboven geschetste visie voor een risico-batenanalyse houdt geen rekening met fundamenteel ethische bezwaren. Onze planeet staat echter onder enorme druk en de inzet is groot. Bijgevolg is het (1) onverstandig om specifieke technologieën *a priori* uit te sluiten en (2) belangrijk om de lat voor duurzame efficiëntie zo hoog mogelijk te leggen en van alternatieve technologieën meer te verwachten dan wat de huidige toepassingen bieden. Een mogelijkheid om ook rekening te houden met ethische bezwaren is het invoeren van een correcte labeling en het zo goed als mogelijk garanderen van keuzevrijheid (zie D. Keuzevrijheid van consument en producent, p. 71).

C. GGO'S EN HET LANDBOUWSYSTEEM

Op een moment dat ons economische systeem de grenzen van de duurzaamheid heeft bereikt en onze industriële samenleving met het traditionele productiemodel stilaan achterhaald is door de globalisering, informatisering en radicaal nieuwe technologieën zoals nanotechnologie, is het hoog tijd om ook onze landbouw- en voedselproductie grondig te evalueren. Het is mogelijk dat nieuwe technologieën binnen afzienbare tijd aan de grootste uitdagingen (het op een duurzame manier voorzien van voedsel en energie voor meer dan negen miljard mensen) tegemoet komen, waarbij de kracht van de huidige exponentiële groei van kennis niet mag worden onderschat, maar het is nu ook zaak om een richting voor de toekomst uit te zetten en, in afwachting van verdere technologische vernieuwing, met de huidige kennis en middelen de eerstkomende decennia door te komen.

Hoewel voeding een basisbehoefte is, vormt het op dit ogenblik in grote mate ook een handelsproduct in een geglobaliseerde economie en vrijemarktsysteem, en is het bijgevolg onderhevig aan dezelfde dynamieken met concurrentie, monopolisatie en speculatie. Dit leidt niet altijd tot de beste oplossingen, en het huidige systeem blijkt ontoereikend om op een duurzame manier meer voedsel en biomassa te produceren. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het debat

rond ggo's en vooral ggo-voedsel tegenwoordig ook vaak gaat over de keuze van het beste landbouw- of zelfs economisch systeem.

Als vastgesteld wordt dat het huidige landbouwsysteem tegen de grenzen van de duurzaamheid aanbotst wegens het hoge beslag op grondstoffen (voor energie en meststoffen), het hoge gebruik van toxische stoffen (pesticiden) en medicatie (bijvoorbeeld antibiotica, bij dierlijke productie), de grote mate van diffuse pollutie (eutrofiëring, nitraatvervuiling van grondwater), en de grote impact op biodiversiteit, dan dienen zich in essentie twee belangrijke alternatieven aan:

1) Inzetten op grotere duurzaamheid door optimaal gebruik van het genetisch potentieel en de diversiteit van gewassen en het optimaal combineren van natuurlijke verdedigingssystemen en ecosysteemdiensten in ecologisch geïntegreerde landbouw. Zo heeft de bio-landbouw onder meer een aantoonbare meerwaarde voor biodiversiteit en bodemkwaliteit, hoewel er ook vragen zijn over de mate waarin de beoogde optimalisatie in de praktijk wordt gerealiseerd (bijvoorbeeld het toelaten van het gebruik van kopersulfaat als bestrijdingsmiddel) en de relatieve meerkost voor de consument. De grote onbekende factor is in welke mate ecologisch geïntegreerde landbouw in staat is om voldoende voedsel (en biomassa) te genereren voor meer dan negen miljard mensen (Seufert et al. 2012) en in welke mate dit ten koste zal gaan van oppervlaktes die anders kunnen worden ingezet voor biodiversiteitsbehoud en bosbouw. 2) De tweede optie is meer inzetten op technologie en intensivering op onderpresterende arealen, zodat de productiviteit per eenheid oppervlakte wordt gemaximaliseerd (het sluiten van de opbrengstkloof of 'yield gap') (Foley et al. 2011), waarbij het genetisch potentieel van gewassen niet enkel optimaal wordt gebruikt maar (o.a. via genetische modificatie) ook kan worden verhoogd. De vraag is dan wel in welke mate een dergelijke verdere intensivering de duurzaamheid van onze voedselproductie op lange termijn zal beïnvloeden.

Daar waar beide alternatieven veelal als twee onverzoenbare strategieën worden gezien, is het nuttig en mogelijk ook noodzakelijk om de compatibiliteit en complementariteit van deze twee opties te evalueren. Het is naar onze mening belangrijk om echt duurzame voedselzekerheid (dus voldoende productie voor een groeiende bevolking met een stijgende welvaart, maar met aanvaardbare impact op grondstoffen, milieu en grondgebruik, zodat ook natuurlijke ecosystemen en de ermee geassocieerde ecosysteemdiensten voldoende ruimte krijgen) als centrale doelstelling voor ogen te houden, waarbij de technologie die gehanteerd wordt om tot deze doelstelling te komen van secundair belang is. Zo kan het belangrijk zijn om de basisdoelstellingen van de bio-landbouw – duurzame voedselproductie – te realiseren via het gebruik van de nieuwe technologieën en methodieken om de lokale productie in geïntegreerde systemen op te drijven, zodat voedselzekerheid kan worden gegarandeerd zonder al te groot beslag op de ruimte. In die optiek hoeft een op bio-landbouw geïnspireerde productiemethode niet per definitie in conflict te zijn met het gebruik van ggo-gewassen waarbij de milieurisico's via technologie tot het uiterste worden beperkt en die een zeer belangrijke meerwaarde realiseren door een milieuvriendelijkere bestrijding van pestsoorten of ziektes of een verhoogde voedselkwaliteit.

Hetzelfde geldt ook voor het aanpakken van problemen die gepaard gaan met de schaalvergroting en mondialisering van de voedselproductie. Kleinschalige, meer lokale, en meer diverse voedselproductie is in principe perfect combineerbaar met (sommige) ggo-toepassingen.

Een dergelijke hervorming van de voedselproductie vereist belangrijk denkwerk, doorgedreven multidisciplinariteit en een open geest, en bovenal een transparante, doordachte en doeltreffende

wetgeving. Er is momenteel een sterke associatie tussen ggo-teelten en een sterk geïntensifieerd en geïndustrialiseerd landbouwmodel die is gegroeid doorheen de jaren (met een zaadindustrie die al langer gecontroleerd wordt door een beperkt aantal multinationals en met een schaalvoordeel voor de meeste investeringsintensieve toepassingen) maar die niet onvermijdelijk is. Een ombuiging van het systeem zal echter belangrijke wijzigingen vereisen in het beleid (*open source*, publieke financiering, wetgeving, enz.) en de mentaliteit van de landbouwers, alsook van de onderzoekers en producenten van ggo-gewassen. Zo zal een (gedeeltelijke) terugkeer naar een meer lokale en geïntegreerde productie belangrijk zijn om op die manier de milieukosten en overmatige voedseloverschotten en verspilling te beperken. Om dit te verwezenlijken is echter een belangrijke sturing van de markt door de overheid nodig. Binnen een lokale en kleinschalige context vervallen mogelijk een aantal belangrijke argumenten en weerstanden tegen genetische modificatie op basis van socio-economische, maar ook gevoelsmatige en culturele gronden.

We verwijzen in verband met deze problematiek ook graag naar de recent opgestarte Metaforum-werkgroep 'Voedselproductie en voedselzekerheid'.

D. KEUZEVRIJHEID VAN CONSUMENT EN PRODUCENT

Een belangrijk element in de discussie rond ggo's en landbouwsystemen is de vrijheid van de betrokkenen om, binnen een wettelijk kader, keuzes te maken naar eigen goeddunken. Dit geldt zowel voor de consument als de producent.

(1) Keuzevrijheid van de consument

Een vrije keuze van de consument op basis van juiste, objectieve informatie binnen een duidelijk wettelijk kader is cruciaal. Omdat consumenten verschillende redenen kunnen hebben om selectief voor of tegen ggo-gewassen te kiezen, is het wenselijk om een correcte objectieve labeling van ggo-voedingsproducten te implementeren. Een dergelijke labeling moet dan in principe betrekking hebben op de hele productieketen. Als naast gezondheid ook de mogelijke socio-economische en ecologische effecten of ethische motieven belangrijk zijn voor de consument, is het logisch dat een product enkel wordt bestempeld als ggo-vrij indien de hele productieketen ggo-vrij is. Als alternatief zou een gradatie kunnen worden gebruikt met verschillende labels, waarbij een eindproduct ggo-vrij kan zijn, maar het productieproces niet, zoals bij vlees geproduceerd met ggo-diervoeder of kleding uit ggo-katoen. Dat is niet noodzakelijk relevant voor de voedselveiligheid, maar kan wel op andere manieren een impact hebben.

Anderzijds is het verplicht labelen van de productiemethode momenteel beperkt tot het aangeven van het gebruik van genetische modificatie. Er is geen verplichte labeling van de conventionele landbouw, die vaak gebruikmaakt van erg schadelijke en niet-duurzame technologieën, of biologische landbouw, terwijl biolabels een positieve keuze stimuleren. Er zou dan ook kunnen worden gepleit voor een verplichte labeling van zowel ggo- als biologische én conventionele landbouwproducten, met het aangeven van scores voor bijvoorbeeld het gebruik (kwantiteit en kwaliteit) van pesticiden en meststoffen of voor landgebruik, de schaal van productie, en de correcte verloning van de producent (zoals bijvoorbeeld het 'fair trade' logo), omdat de consument dan in principe positieve keuzes kan maken voor elk van deze productiewijzen. In een dergelijk objectief systeem, vergelijkbaar met de energie-scores die huishoudtoestellen krijgen, zou de consument dan kunnen kiezen voor ggo-houdend voedsel waarvan de productie beduidend beter scoort in termen

van bijvoorbeeld pesticiden- of landgebruik (bijvoorbeeld een A-score) of kleinschalige productie, ten opzichte van een grootschalig niet-ggo- (conventioneel of bio-) product met een lagere score. Op die manier wordt de vaak negatieve connotatie van een ggo-label geneutraliseerd, terwijl mensen die om persoonlijke redenen verkiezen om geen ggo-voedsel te kopen die mogelijkheid behouden. Uiteraard vereist een dergelijk systeem een sterke controleprocedure en duidelijke criteria (zoals nu ook al voor de bioteelt), maar het zou een uitweg bieden uit het conflict over stigmatiserende labeling en bovendien de ontwikkeling van toepassingen met een duidelijke meerwaarde voor de consument stimuleren. Het loont onzes inziens dan ook de moeite om verder over de praktische uitwerking en haalbaarheid van een dergelijk na te denken.

(2) Keuzevrijheid van de producent

Naast de keuzevrijheid van de consument is ook de keuzevrijheid van de producent een belangrijk punt in de discussie rond ggo's. Dit heeft verschillende aspecten. Vooreerst moet de producent, binnen een gepast wettelijk kader, de vrijheid hebben om te kiezen voor ggo-producten. Ggo-teelten hebben zeer snel een belangrijk aandeel van de globale markt veroverd omwille van een aantal voordelen voor de producenten. Landbouwers kiezen in de meeste gevallen zelf om ggo-gewassen te telen en worden daartoe niet verplicht. Het gaat om een vrije keuze waarbij de landbouwer ook zelf persoonlijk voordeel haalt uit het gebruik van ggo's, zoals het gemak van teelt en oogst, een verminderde kost van pesticiden, enz.

Uiteraard moet de vrije keuze van de producent ook rekening houden met een aantal bijkomende aspecten en een gepaste wetgeving. Zo moeten omwille van kansen op gen-uitwisseling en contaminatie strikte bufferzones met andere teelten gerespecteerd worden. Dit kan het economische voordeel van ggo-gewassen verminderen, maar is noodzakelijk omdat anders de keuzevrijheid van de ene landbouwer die van de andere beperkt. Daarnaast moeten tijdens de productie- en verwerkingsprocessen ggo-teelten en hun afgeleide producten ook kunnen worden gescheiden van niet-ggo-teelten en hun producten, opnieuw om zo contaminatie te beperken of vermijden. Efficiënte traceerbaarheid is daarbij steeds essentieel. Mogelijke directe economische schade door beperkte contaminatie wordt opgevangen door de 0,9% (en 0,1%) regel, maar voor de mogelijke ecologische impact heeft deze regel weinig zin.

Concreet stelt zich voor Bt-gewassen ook een probleem in de interactie met de bio-landbouw, omdat grootschalige teelt kan leiden tot resistentie van plaagsoorten voor de werkzame producten (*Bacillus thuriengiensis* toxines), een van de weinige types pesticiden die kunnen worden gebruikt in de bio-landbouw.

Vrijheid van wetenschappelijk onderzoek

De controverse rond ggo's stelt soms ook de wetenschappers die genetische modificatie gebruiken in hun (fundamenteel) onderzoek en de technologie zelf verder optimaliseren in een negatief daglicht. Dit is jammer, omdat bedenkingen bij bepaalde toepassingen niet mogen leiden tot een veroordeling van een techniek als dusdanig. De gentechnologie heeft voor een revolutie gezorgd in de biologische wetenschappen en voor een spectaculaire stijging van inzichten in de moleculaire biologie van cellen en organismen, met tal van waardevolle toepassingen in onder meer de geneeskunde. Bovendien is ook het wetenschappelijk onderzoek onderworpen aan een strikte regelgeving, die werd vast gelegd langs democratische weg. Het kan daarom niet getolereerd worden dat wetenschappers onder druk zouden worden gezet door een of andere partij, of dat onderzoek vernield wordt. Een pleidooi voor de keuzevrijheid van de wetenschapper is hier op zijn plaats.

Daarnaast speelt in de marge van het ggo-debat soms ook de vraag of de ongebondenheid van wetenschappers niet in het gedrang komt door de steeds toenemend afhankelijkheid van industriële partners voor onderzoeksgelden. Opnieuw is deze problematiek niet specifiek voor ggo's, maar mogelijk wel relevant in deze context omwille van de hoge ontwikkelingskosten. Deze interactie hoeft niet per se slecht te zijn – ook medewerkers van *biotech*bedrijven zijn vaak gedreven door idealisme en proberen een bijdrage te leveren aan het oplossen van belangrijke concrete problemen. Academische wetenschappers worden meestal gedreven door nieuwsgierigheid en willen ongeacht de aard van de financiering in de eerste plaats achterhalen hoe de natuurlijke wereld in elkaar zit, kan gebruikt en eventueel verbeterd worden. Toch is het inderdaad zo dat het wetenschappelijk onderzoek aan onze universiteiten steeds meer afhankelijk wordt van (maar ook sterk gegroeid is dankzij) de zogenaamde 'vierde geldstroom'. Recent wees de World Academic Summit Innovation Index van het tijdschrift *Times Higher Education* (THE) er nogmaals op dat België binnen Europa (enkel voorafgegaan door Nederland) en zelfs wereldwijd in de top staat van landen met een hoog percentage onderzoeksgeld uit de industrie.[54] Hoewel dit niet expliciet de vrijheid van onderzoek aantast, stuurt een dergelijke afhankelijkheid het onderzoek wel in de richting van rendabele toepassingen met een verhoogd risico op 'gewenste resultaten'. Anderzijds is het ook zo dat het openbaar financieringssysteem (onafhankelijk van de industrie) eveneens druk legt op wetenschappers om positieve resultaten te behalen die gepubliceerd kunnen worden in gerenommeerde onderzoekstijdschriften. Meer fundamentele inzichten in de genetica, fysiologie en ecologie van organismen zijn bovendien ook absoluut nodig om nuttige en veilige ggo's te maken en de industrie kan een belangrijke bijdrage leveren aan het onderzoek in deze richting.

E. ROL VOOR DE OVERHEID – HET WETGEVEND KADER

Het is duidelijk dat sturing van ggo-ontwikkeling, -teelt en -handel door de overheid nodig is, zoals dit ook bij andere producten gebeurt in het geval van bijvoorbeeld monopolisatie. In een mondiaal systeem met zeer heterogene wetgeving en ideologische principes is dit niet evident, maar een aantal voorbeelden (zoals het mededingingsrecht) illustreren dat het wel kan.

Een belangrijk potentieel obstakel daarbij is wel de moeizame besluitvorming en het soms onduidelijke beleid van de EU, gekoppeld met de macht die de deelstaten behouden (Masip et al., 2013). Positief wetenschappelijk advies door het European Food Safety Agency (dat in samenspraak met nationale instellingen tot stand komt) is vrijblijvend en kan politiek genegeerd worden op basis van andere elementen dan volksgezondheid (partijpolitieke belangen, de invloed van drukkingsgroepen, milieu, economie, risico op gentransfer, enz.), terwijl negatief advies uiteraard steeds bindend is wegens het mogelijke gevaar voor de volksgezondheid. Een complexe regelgeving heeft direct en indirect grote implicaties voor de ontwikkelingskost van ggo's, en een vaak gehoord argument is dat dit ook de drempel verhoogt voor de ontwikkeling van minder commerciële ggo's met een grote maatschappelijke relevantie maar een kleiner economisch potentieel. De concurrentiepositie van Europa, zowel in landbouwproductie als in onderzoek en ontwikkeling binnen de *biotech*industrie, wordt ook vaak aangehaald als een belangrijk argument voor het versoepelen van de ggo-regelgeving. Ongetwijfeld heeft de complexe EU-politiek een negatief effect op de concurrentiekracht, hoewel controle op ggo-import anderzijds ook kan worden gezien als een afscherming van de markt. Dit is te betreuren bij absoluut veilige toepassingen met een duidelijke meerwaarde (voor producent én consument), maar tegelijk zijn we van mening dat economische argumenten nooit opwegen tegen veiligheidsoverwegingen (het voorzorgsprincipe).

[54] http://www.timeshighereducation.co.uk/news/east-asia-leads-the-world-in-business-funding/2006387.article.

Terwijl voor fundamenteel, nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek vrijheid (binnen ethische en veiligheidsgrenzen) essentieel is, blijft er voor toegepast onderzoek ook een grote nood aan maatschappelijke legitimatie, waarbij de maatschappelijke nood niet per se gelijkstaat met economische meerwaarde, innovatie en het creëren van jobs, maar verwijst naar duurzame levenskwaliteit in de ruimste zin. We zien dan ook een belangrijke rol weggelegd voor de overheid in de identificatie van nuttige en urgente toepassingen en de sturing van het publiek gefinancierd onderzoek. Het is een evidente taak voor de overheid om te zorgen voor voedselzekerheid en -veiligheid. Uit strategische en politieke overwegingen hebben overheden historisch steeds het landbouwbeleid beïnvloed via subsidies, heffingen en reglementering. Het is dan ook niet meer dan logisch dat de overheid ook hier een actieve rol speelt. Er moet daarom nagedacht worden over geschikte systemen. In China en Brazilië bijvoorbeeld investeert de overheid sterk in biotechnologisch ggo-onderzoek en deze investeringen hebben reeds geleid tot de ontwikkeling van lokale ggo-variëteiten van verschillende producten. Een interessante idee is dat bedrijven hun ggo-onderzoek en -ontwikkeling zouden kunnen financieren via een fonds waartoe ze ook verplicht bijdragen en dat voorstellen ondersteunt van onderzoek op basis van de maatschappelijke meerwaarde van het eindproduct. Zo kunnen bepaalde bedrijven meer uit het fonds halen dan ze er in stoppen, op basis van de meerwaarde van hun voorstellen. Er bestaan voorbeelden van succesvolle publiek-private samenwerkingen met ggo-toepassingen voor ontwikkelingslanden, zoals de gouden rijst en de water-efficiënte maïs voor Afrika (WEMA), waarbij de overheid een belangrijke faciliterende rol kan spelen.

Hoewel intellectueel eigendomsrecht en patenten vaak onder vuur liggen, kan ook worden geargumenteerd dat ze belangrijk zijn voor innovatie. Dit is echter een complexe materie, waar naast zeer technische en socio-economische argumenten ook ethische overwegingen spelen. Er is ongetwijfeld wel nog ruimte om via een duidelijk gereglementeerd en open licentiesysteem een aantal van de bezwaren aan te pakken. Een bijzonder punt van aandacht is het vermijden van misbruik van het zogenaamde ‘stewardship’ op markten (in ontwikkelingslanden) waar gewassen niet door octrooien zijn beschermd. Daarnaast kunnen nieuwe creatieve businessmodellen gebaseerd op *open source* de ontwikkeling van nieuwe veilige technologieën ongetwijfeld versnellen.

F. DEBAT EN COMMUNICATIE

Zoals mag blijken uit onze tekst omvat de problematiek rond het nut en de impact van ggo’s vele facetten. Een dergelijke complexe materie vergt dan ook niet enkel een zeer genuanceerde boodschap, maar in de eerste plaats correcte, objectieve informatie zodat iedereen voor zichzelf een gefundeerde mening kan vormen. Daarbij kunnen verschillende aspecten, naargelang de ethische denkstrategie, ook individueel een verschillend gewicht krijgen. Een groot probleem daarbij is niet enkel de sterke polarisering tussen voor- en tegenstanders, maar ook de vaak tegenstrijdige berichtgeving en de grote technische complexiteit van de materie. Vaak worden sterke stellingen ingenomen, ook door mensen die weinig geïnformeerd zijn over de problematiek. Het is ook niet gemakkelijk: door de grote complexiteit van de mogelijke impact van ggo’s is het bijna onmogelijk om expertise te hebben in alle domeinen van de problematiek, wat ook voor de betrokken wetenschappers soms problematisch is.

We pleiten dan ook voor een zo groot mogelijke objectivering van het debat. Er zijn soms rationele argumenten aan te brengen voor twijfels bij bepaalde ggo-toepassingen. Het gebruik van zweverige

argumenten is, zeker tegenover wetenschappers, zeer contraproductief. Anderzijds is het ook nodig dat voorstanders respectvol begrip tonen voor de bezorgdheden en openstaan voor andere perspectieven en waardenkaders. Even cruciaal is om niet te vervallen in berusting, om bereid te blijven tot uitleg en overleg, en om zeker niemand "met academische hooghartigheid in de hoek van de achterlijkheid te duwen."[55] Essentieel is ook dat er een grote transparantie is, onder meer rond het beoordelingsproces (cfr. het EFSA, dat op haar website dossiers, opinies en informatie over de samenstelling van wetenschappelijke panels ter beschikking stelt). Ook voor de populaire media vergt het enige moed om een genuanceerd beeld te geven over ggo's, met het risico op een moeilijke, complexe en daardoor minder aantrekkelijke boodschap.

Ten slotte willen we een voorstel doen tot het creëren van een blijvende structuur voor regelmatige reflectie, overleg en uitwisseling van ideeën over de nieuwste ontwikkelingen rond ggo's (of ruimer, genetische modificatie, inclusief synthetische biologie) met de verschillende betrokken partijen. Een dergelijke groep kan ook functioneren als snel aanspreekpunt voor multidisciplinaire expertise en advies aan pers (zoals bij het verschijnen van controversiële studies) en beleidsmakers, en een regelmatige update voorzien van een visietekst die ook kan dienen als algemene inleiding in het onderwerp voor verschillende, ook niet-wetenschappelijke, opleidingen.

G. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Het hele debat rond ggo's is complex. Ten eerste is de technologie ingewikkeld en nog in volle ontwikkeling. Bovendien zijn er veel verschillende facetten aan de discussie, waarbij zowel puur technisch-biologische als ecologische, socio-economische en ook ethische argumenten belangrijk zijn. Deze complexiteit maakt het voor individuen moeilijk om sterke expertise te verwerven over het hele spectrum aan aspecten die gerelateerd zijn aan ggo's, en maakt het ook moeilijk om harde conclusies te formuleren die door iedereen gedragen worden. Zelfs tussen de leden van deze werkgroep was het niet altijd mogelijk om een algemene consensus te vinden over alle aspecten van het debat. Desondanks denken we dat er wel degelijk enkele sterke besluiten en aanbevelingen geformuleerd kunnen worden.

Ten eerste pleiten we voor een genuanceerd debat, waarbij men niet voluit voor of tegen ggo's is, maar eerder voor elke specifieke toepassing nauwkeurig de maatschappelijk toegevoegde waarde en risico's afweegt. Het is duidelijk dat ggo's in principe enorme opportuniteiten bieden en een belangrijk onderdeel zouden kunnen vormen in onze aanpak van de stijgende behoefte aan voedsel dat op een meer duurzame manier geproduceerd moet worden. Aangezien deze uitdaging zeer groot is, lijkt het ons belangrijk om geen enkele technologie per definitie uit te sluiten. Specifieke ggo-toepassingen zijn in principe ook perfect combineerbaar met een kleinschalige, meer lokale en meer diverse en geïntegreerde voedselproductie. Aan de andere kant is het evenzeer duidelijk dat de technologie ook belangrijke risico's meebrengt. Sommige risico's, zoals bijvoorbeeld een direct gezondheidsrisico voor de consumenten, lijken eerder beperkt en beheersbaar. Andere gevaren, zoals de mogelijke socio-economische en ecologische gevolgen van de grootschalige teelt van ggo's, zijn moelijker in te schatten en te beheersen. Daarom lijkt het ons gepast om behoedzaam tewerk te gaan en geval per geval (ggo per ggo) af te wegen of de mogelijke risico's opwegen tegenover de mogelijke voordelen. In principe is dat ook de strategie die momenteel gevolgd wordt door de

[55] Formulering van Marc Reynebeau in een repliek in *De Standaard* in een andere context.

verschillende instanties belast met de regelgeving en evaluatie van ggo's in ons land en in Europa, zij het dat onze werkgroep de maatschappelijke voordelen nauwer zou definiëren, als bijdrage tot meer duurzame productie, dan wat heden gebeurt. We adviseren om puur economische voordelen zonder toegevoegde waarde in verband met duurzame voedselproductie of verhoging van de voedselzekerheid, -veiligheid of -kwaliteit niet als bepalend criterium te typeren.

In de praktijk is de wetgeving rond ggo's complex en versnipperd, waardoor te veel ruimte gecreëerd wordt voor *lobbying* van zowel voor- als tegenstanders. Dit betekent niet dat het voorzorgsprincipe moet worden losgelaten, maar dat duidelijkere, bindende criteria nodig zijn voor kosten én baten, die dan ook rechtszekerheid garanderen.

We pleiten voor het implementeren van de nieuwste technologie voor het minimaliseren van het verspreiden van ggo's en gentransfer. Meer specifiek pleiten we ervoor dat elk commercieel beschikbaar gewas op zijn minst beantwoordt aan de strengste normen voor beschikbare veiligheidsmechanismen. Bij het bepalen van risico's moet bovendien rekening worden gehouden met de grote oppervlaktes waarop ggo's vaak worden geteeld, waardoor een klein risico gemeten op 1 ha teelt zich door de verhoogde kansen kan vertalen in een groot risico. We pleiten dan ook voor de voortzetting van het wetenschappelijk onderzoek rond alle aspecten van ggo's. Verder biologisch onderzoek zal ongetwijfeld leiden tot de verdere ontwikkeling van veelbelovende technieken waarmee niet alleen nieuwe interessante toepassingen mogelijk worden, maar ook de risico's van ggo's in grote mate beperkt kunnen worden, door bijvoorbeeld het risico op verspreiding in de natuur via bijkomende moleculaire barrières te verminderen. Verder onderzoek naar de socio-economische gevolgen van ggo-teelten is evenzeer nodig, net zoals onderzoek naar de (langetermijn) gevolgen van ggo's voor ecosystemen en biodiversiteit.

De werkgroep vindt keuzevrijheid belangrijk, zowel voor de producenten als voor de consumenten. Voor de producenten betekent dit in principe dat het telen van ggo's tot de mogelijkheden moet behoren, maar wel mits het respecteren van de vrijheden van andere producenten en consumenten. Dit betekent het in acht nemen van sterke, door wetenschappelijke studies vastgelegde bufferzones (dus geen verschillende afstanden voor bufferzones meer naargelang het land) die voldoende groot zijn om geen contaminatie te hebben van conventionele en biologische landbouw, en gescheiden verwerkingstrajecten van ggo-producten. Perfecte traceerbaarheid is belangrijk, waarbij de meerkost wordt gedragen door de ggo-industrie en -producenten. Omdat we de keuzevrijheid van de consument belangrijk vinden, is het essentieel dat er gescheiden trajecten voor ggo's, conventionele en biologische landbouw kunnen worden gegarandeerd, en dat er een correcte labeling wordt geïmplementeerd. Dit houdt onder meer in dat er ook een labeling is voor producten die indirect afgeleid zijn van ggo's, zoals vlees van dieren gevoederd met ggo-veevoeder. Bovendien vinden we dat de labeling niet enkel informatie zou moeten bevatten over de productiewijze (ggo, biologische landbouw, conventionele landbouw) maar ook over de werkelijke milieu-impact (gebruik van pesticiden, meststoffen, land). Dit zou de consument toelaten om te kiezen voor de grootste duurzaamheid.

De ggo-problematiek is echter bij uitstek een voorbeeld van een materie die een gestroomlijnde mondiale aanpak vergt. Elk land, en zelfs elk continent, draagt de gevolgen van de beslissingen die elders op de planeet genomen worden. Het is genoeg dat één regio de teelt van een gevaarlijke ggo toelaat om een globaal probleem te creëren. Daarom pleiten we ervoor om op termijn een meer

globale aanpak na te streven, waarbij beslissingen omtrent ggo's verschoven worden naar een orgaan met een mondiale draagkracht, en waarbij beslissingen rekening houden met een afweging tussen risico's (de aard van de risico's, de kans dat het fout loopt, de mogelijkheden om het risico technisch in te dijken) en maatschappelijke voordelen. Bovendien dringen we erop aan dat de wetgeving van dit overkoepelend orgaan ook rekening houdt met de mogelijke socio-economische en ecologische impact van ggo's. In principe zijn sommige van de socio-economische gevolgen van ggo's in te dijken via een aangepaste wetgeving. Zo kan kleinschalig gebruik gestimuleerd worden en monopolievorming vermeden worden. Daarbij moet ook rekening worden gehouden met de invloed op de natuurlijke biodiversiteit, onder meer als bron voor toekomstige vernieuwingen en aanpassingen aan (klimaat)veranderingen.

Een interessante denkpiste om de kosten-batenanalyse van ggo's, en de ermee samenhangende maatschappelijke aanvaarding, te verhogen is om een fonds op te richten waartoe naast overheden ook plant*biotech*-bedrijven verplichtend bijdragen, en dat kan worden aangesproken op basis van competitieve *calls*. De selectie van de projecten die kunnen worden gefinancierd zou dan expliciet gebaseerd zijn op een analyse van de maatschappelijke voordelen met betrekking tot duurzaamheid en voedselkwaliteit enerzijds en de mogelijke risico's en de inspanningen om die tot een minimum te reduceren anderzijds.

We beseffen dat een aantal van de bovenstaande suggesties niet gemakkelijk realiseerbaar zijn en door sommigen zelfs als utopisch zullen worden beschouwd, maar ongewoon grote uitdagingen vragen om ongewone ideeën en oplossingen.

12. REFERENTIES

Anderson K, Valenzuela E, Jackson LA. (2008). Recent and prospective adoption of genetically modified cotton: a global computable general equilibrium analysis of economic impacts. *Econ. Dev. Cult. Change* 56:265–96

Anderson K, Jackson LA, Nielsen CP. (2005). Genetically modified rice adoption: implications for welfare and poverty alleviation. *J. Econ. Integr*. 20:771–88

Anderson K, Yao S. (2003). China, GMOs and world trade in agricultural and textile products. *Pac. Econ. Rev*. n8:157–69

Andow, D.A. & Zwahlen C. (2006). Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecology Letters* 9: 196-214

Basu AK, Qaim M. (2007). On the adoption of genetically modified seeds in developing countries and the optimal types of government intervention. *Am. J. Agric. Econ.* 89:784–804

Biesmeijer J.C., Roberts S.P.M., Reemer M.,Ohlemueller R., Edwards M., Peeters T. Schaffers A.P., Potts S.G., Kleukers R., Thomas C.D., Settele J., KuninW.E. (2006). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354

Bohan D.A., Boffey C.W.H., Brooks D.R., Clark S.J., Dewar A.M., Firbank L.G., Haughton A.J., Hawes C., Heard M.S., May M.J., Osborne J.L., Perry J.N., Rothery P., Roy D.B., Scott R.J., Squire G.R., Woiwod I.P. & Champion G.T. (2005). Effects on weed and invertebrate abundance and diversity of herbicide management in genetically modified herbicide-tolerant winter-sown oilseed rape. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences. 272: 463–474

Bouis H. (2007). The potential of genetically modified food crops to improve human nutrition in developing countries. *J. Dev. Stud*. 43:79–96

Brookes G, Barfoot P. (2005). GM Crops: The Global Socioeconomic and Environmental Impact—The First Nine Years. Dorchester: PG Econ.

Brookes G, Barfoot P. (2012). GM Crops: Global Socioeconomic and Environmental Impacts 1996– 2010. Dorchester: PG Econ.

Chen X., Zen K., Zhang C-Y. (2013). Reply to Lack of detectable oral bioavailability of plant microRNAs after feeding in mice. *Nature Biotechnology* 31: 967–969

Christaensen L. (2012). When China Runs Out of Farmers! Presentation at the workshop 'Food Security and Its Implications for Global Stability', June 18-19, 2012, Cornell University.

Clive J. (2010). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. *ISAAA Brief* n°42 (Executive summary: www.isaaa.org)

Cohen J. (2005). Poorer nations turn to publicly developed GM crops. *Nature Biotechnology* 23: 27-33

Craig W, Tepfer M., Degrassi G. & Ripandelli D. (2008). An overview of general features of risk assessments of genetically modified crops. *Euphytica*. 164: 853–880

Cuhra M., Traavik T, Bøhn T. (2013). Clone- and age-dependent toxicity of a glyphosate commercial formulation and its active ingredient in Daphnia magna. *Ecotoxicology* 22:251-62

Dale P.J., Clarke B. & Fontes E.M.G. (2002). Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology*. 20: 567-843

Demont M, Cerovska M, Daems W, Dillen K, Fogarasi J, Mathijs E, et al. (2008). Ex ante impact assessment under imperfect information: biotechnology in new member states of the EU. *J. Agric. Econ*. 59:463–86

Demont M, Tollens E. (2004). First impact of biotechnology in the EU: Bt maize adoption in Spain. *Ann. Appl. Biol*. 145:197–207

Demont M, Wesseler J, Tollens E. (2004). Biodiversity versus transgenic sugarbeet: the one euro question. *Eur. Rev. Agric. Econ*. 31:1–18

De Tavernier, J. (2012). Food Citizenship: Is There a Duty for Responsible Consumption? *Journal of Agricultural & Environmental Ethics* 25: 895-907.

Devos Y., Cougnon M., Vergucht S., Bulcke R., Haesaert G., Steurbaut W., Reheul D. (2008). Environmental impact of herbicide regimes used with genetically modified herbicide-resistant maize. *Transgenic Res*. 17: 1059–1077,

Dickinson B., Zhang Y., Petrick J.S., Heck G., Ivashuta S., Marchall W.S. (2013). Lack of detectable oral bioavailability of plant microRNAs after feeding in mice. *Nature Biotechnology* 31: 965–967.

Duffy M. (2001). Who benefits from biotechnology? Presented at Am. Seed Trade Assoc. Meet., 5-7 December, Chicago, Ill.

Dunfield K.E. & Germida J.J. (2004). Impact of Genetically Modified Crops on Soil-and Plant-Associated Microbial Communities. *Journal of Environmental Quality*. 33: 806-8015

Edgerton M.D. (2009). Increasing Crop Productivity to Meet Global Needs for Feed, Food, and Fuel. *Plant Physiology*. 149: 7-13

Edmeades S, Smale M. (2006). A trait-based model of the potential demand for a genetically engineered -food crop in a developing economy. *Agric. Econ*. 35:351–61

Ellstrand N.C., Prentice H.C. & Hancock J.F. (1999). Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relative. *Annu. Rev. Ecol. Syst*. 30: 539-63

Elbehri A, MacDonald S. (2004). Estimating the impact of transgenic Bt cotton on west and central Africa: a general equilibrium approach. *World Dev*. 22:2049–64

Engels J.M.M., Ebert A.W., Thormann I. & deVicente M.C. (2006). Centres of crop diversity and/or origin, genetically modified crops and implications for plant genetic resources conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 53:1675–1688

Evenson RE, Santaniello V, Zilberman D, eds. (2002). Economic and Social Issues in Agricultural Biotechnology. Oxfordshire, UK: CABI Publ.

Falck-Zepeda JB, Traxler G, Nelson RG. (2000). Rent creation and distribution from biotechnology innovations: the case of Bt cotton and herbicide-tolerant soybeans in 1997. *Agribusiness* 16: 21–32

Falck-Zepeda JB, Traxler G, Nelson RG. (2000). Surplus distribution from the introduction of a biotechnology innovation. *Am. J. Agric. Econ*. 82:360–69

Fan S, Chan-Kang C, Qian K, Krishnaiah K. (2005). National and international agricultural research and rural poverty: the case of rice research in India and China. *Agric. Econ*. 33:369–79

Fernandez-Cornejo J, Hendricks C, Mishra A. (2005). Technology adoption and off-farm household income: the case of herbicide-tolerant soybeans. *J. Agric. Appl. Econ*. 37:549–63

Fisvold G, Reeves J. (2007). Economy –wide impacts of Bt cotton. Presented at Annu. Beltwide Cotton Conf. Natl. Cotton Counc. Am., New Orleans

Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzer C, Bennett EM, Carpenter SR, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockström J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D, Zaks DP. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.

Fuchs M., Cambra M., Capote N., Jelkmann W., Kundu J., Laval V., Martelli G.P., Minafra A., Petrovic N., Pfeiffer P., Pompe-Novak M., Ravelonandro M., Saldarelli P., Stussi-Garaud C., Vigne E. & Zagrai I. (2007). Safety assesment of transgenic plums and grapevines expresing viral coat protein genes: new insights into real environmental impact of perennial plants engineered for virus resistance. *Journal of Plant Pathology*. 89: 5-12

Gandhi VP, Namboodiri NV. (2006). The adoption and economics of Bt cotton in India: preliminary results from a study. Work. Pap. 2006-09-04, Indian Inst. Manag.

Gibbons D.W., Bohan D.A., Rothery P., Stuart R.C., Haughton A.J., Scott R.J., Wilson J.D., Perry J.N., Clark S.J., Dawson R.J.G. & Firbank L.G. (2006). Weed seed resources for birds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of The Royal Society* B. 273: 1921–1928

Godfree R.C., Thrall P.H. & Young A.G. (2007). Enemy release after introduction of disease-resistant genotypes into plant–pathogen systems. *PNAS* 104: 2756-2760

Graef F. (2009). Agro-Environmental Effects Due to Altered Cultivation Practices with Genetically Modified Herbicide-Tolerant Oilseed Rape and Implications for Monitoring: A Review. *Agron. Sustain. Dev*. 29: 31–42

Gruère GP, Mehta-Bhatt P, Sengupta D. (2008). Bt cotton and farmer suicides in India: reviewing the evidence. Discuss. Pap. 00808, Int. Food Policy Res. Inst.

Grunewald W, Bury J. (2013). Comment on 'Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize' by Séralini et al. *Food Chem Toxicol*. 53:447-8

Hareau GG, Mills BF, Norton GW. (2006). The potential benefits of herbicide-resistant transgenic rice in Uruguay: lessons for small developing countries. *Food Policy* 31:162–79

Hareau G, Norton GE, Mills BF, Peterson E. (2005). Potential benefits of transgenic rice in Asia: a general equilibrium analysis. *Q. J. Int. Agric*. 44:229–46

Hazell P, Ramasamy C. (1991). The Green Revolution Reconsidered: The Impact of High-Yielding Rice Varieties in South India. Baltimore, MD: Johns Hopkins Univ. Press

Heard, M.S., Hawes, C., Champion, G.T., Clark, S.J., Firbank, L.G., Haughton, A.J., Parish, A.M., Perry, J.N., Rothery, P., Scott, R.J., Skellern, M.P., Squire, G.R., & Hill, M.O. (2003a). Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Effects on abundance and diversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*. 358: 1819-1832

Heard, M.S., Hawes, C., Champion, G.T., Clark, S.J., Firbank, L.G., Haughton, A.J., Parish, A.M., Perry, J.N., Rothery, P., Roy, D.B., Scott, R.J., Skellern, M.P., Squire, G.R., & Hill, M.O. (2003b). Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. II. Effects on individual species. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B- Biological Sciences*. 358: 1833-1846

Hirschi, K.D. (2012). New foods for thought. *Trends Plant Sci*. 17:123-5.

Huang J, Rozelle S, Pray C, Wang Q. (2002). Plant biotechnology in China. *Science* 295:674–77

Huang J, Hu R, Rozelle S, Qiao F, Pray CE. (2002). Transgenic varieties and productivity of smallholder cotton farmers in China. *Aust*. *J. Agric. Resour. Econ*. 46:367–87

Huang J, Hu R, van Meijl H, van Tongeren F. (2004). Biotechnology boosts to crop productivity in China: trade and welfare implications. *J. Dev. Econ.* 75:27–54

Huang J, Hu R, Rozelle S, Pray C. (2005). Insect-resistant GM rice in farmers' fields: assessing productivity and health effects in China. *Science* 308:688–90

Hvistendahl M, Enserink M (2012). GM research. Charges fly, confusion reigns over golden rice study in Chinese children. *Science* 337:1281.

Jackson M.W., Stinchcombe J.R., Korves T.M. & Schmitt J. (2004). Costs and benefits of cold tolerance in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Ecol*ogy. 13: 3609–3615

Joung J.K. and Jeffry D. Sander J.D. (2013). TALENs: a widely applicable technology for targeted genome editing. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol*. 14, 49-55

Kalaitzandonakes N, ed. (2003). The Economic and Environmental Impacts of Agbiotech. New York: Kluwer

Kathage J, Qaim M. (2012). Economic impacts and impact dynamics of Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 109: 11652-656.

Keller P.K, Geist J., Jeschke J.M., Kühn I. (2011). Invasive species in Europe: ecology, status, and policy. *Environmental Sciences Europe 23:23*

Keese P. (2008). Risks from GMOs due to Horizontal Gene Transfer. *Environ. Biosafety Res*. 7:123–149

Krishna VV, Qaim M. (2008). Potential impacts of Bt eggplant on economic surplus and farmers' health in India. *Agric. Econ*. 38:167–80

Kukarni V. Damodaran H. (2012). Emulate Brazil, China, not Europe. News article on Business Line. Published online on February 17, 2012.

Losey, J.E., Rayor, L.S. & Carter, M.E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*. 399: 214-215

Lu Y., Wu K., Jiang Y., Guo Y., Desneux N. (2012). Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* 487: 362-5

Marvier, M., McCreedy, C., Regetz, J. & Kareiva, P. (2007). A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates. *Science* 316: 1475–1477

Marvier, M. & Van Acker R. (2005). Can crop transgenes be kept on a leash? *Frontiers in Ecology and the Environment* 3: 99-105

Masip G, Sabalza M, Pérez-Massot E, Banakar R, Cebrian D, Twyman RM, Capell T, Albajes R, Christou P. (2013). Paradoxical EU agricultural policies on genetically engineered crops. *Trends Plant Sci*. 18:312-24.

McCluskey J, Swinnen J. (2011). The media and food risk perceptions. *EMBO Rep*. 12:624-9.

McCough S., Crowell S. (2012). Crop Technologies: Contributions to Food Security. Presentation at the workshop 'Food Security and Its Implications for Global Stability', June 18-19, 2012, Cornell University.

Meffe, G.K. & C.R. Carroll (eds.) (1997) Principles of conservation biology, second edition. Sinauer Associates, Sunderland.

Morse S, Bennett R, Ismael Y. (2004). Why Bt cotton pays for small-scale producers in South Africa. *Nat. Biotechnol.* 22:379–80

Moschini G, Lapan H, Sobolevsky A. (2000). Roundup Ready soybeans and welfare effects in the soybean complex. *Agribusiness* 16:33–55

Naseem A, Pray C. (2004). Economic impact analysis of genetically modified crops. In Handbook of Plant Biotechnology, ed. P Christou, H Klee. 51: 959-91. Chichester, UK: John Wiley & Sons

Nielsen CP, Anderson K. (2001). Global market effects of alternative market responses to genetically modified organisms. *Weltwirtsch. Arch*. 137:320–46

Nishizawa T., Nakajima N., Aono M., Tamaoki M., Kubo A. & Saji H. (2009). Monitoring the occurrence of genetically modified oilseed rape growing along a Japanese roadside: 3-year observations. *Environ. Biosafety Res*. 8: 33–44

Pemsl D, Waibel H. (2007). Assessing the profitability of different crop protection strategies in cotton: case study results from Shandong Province, China. Agric. Syst. 95:28–36

Pennisi E. (2013). The CRISPR craze. *Science* 341: 833-6.

Phillips PWB. (2003). The economic impact of herbicide tolerant canola in Canada. See Kalaitzandonakes 2003, 7:119–40

Pineyro-Nelson A., Van Heerwaarden J., Perales H.R., Serratos-Hernandez J.A., Rangel A., Hufford M.B., Gepts P., Garayarroyo A., Rivera-Bustamante R. & Alvarez-Buylla E.R. (2009). Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology* 18:750-761

Pray CE, Ma D, Huang J, Qiao F. (2001). Impact of Bt cotton in China. *World Dev*. 29:813–25

Qaim M, Krattiger AF, von Braun J, eds. (2000). Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the Benefits for the Poor. New York: Kluwer

Qaim M, de Janvry A. (2003). Genetically modified crops, corporate pricing strategies, and farmers' adoption: the case of Bt cotton in Argentina. *Am. J. Agric. Econ*. 85:814–28

Qaim M, Zilberman D. (2003). Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science* 299:900–2

Qaim M. (2005). Agricultural biotechnology adoption in developing countries. *Am. J. Agric. Econ*. 87:1317–24

Qaim M, de Janvry A. (2005). Bt cotton and pesticide use in Argentina: economic and environmental effects. *Environ. Dev. Econ*. 10:179–200

Qaim M, Traxler G. (2005). Roundup Ready soybeans in Argentina: farm level and aggregate welfare effects. *Agric. Econ.* 32:73–86

Qaim M, Subramanian A, Naik G, Zilberman D. (2006). Adoption of Bt cotton and impact variability: insights from India. *Rev. Agric. Econ*. 28:48–58

Qaim M, Pray CE, Zilberman D. (2008). Economic and social considerations in the adoption of Bt crops. See Romeis et al., 12:329–56

Qaim M. (2009). The economics of genetically modified crops. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 1:665-93

Ramasamy C, Selvaraj KN, Norton GW, Vijayaraghavan K, eds. (2007). Economic and Environmental Benefits and Costs of Transgenic Crops: Ex-Ante Assessment. Coimbatore: Tamil Nadu Agric. Univ.

Reichman J.R., Watrud L.S., Lee E.H., Burdick C.A., Bollman M.A., Storm M.J., King G.A. & Mallory-smith C. (2006). Establishment of transgenic herbicide-resistant creeping bentgrass (Agrostis stolonifera L.) in nonagronomic habitats. *Molecular Ecology* 15: 4243–4255

Robert W, Lerayer A, Fedoroff N, Giddings LV, Strauss SH, Leaver C, Shantharam S, Potrykus I, Fellous M, Burachik M, Jany KD, Trewavas A, Rao CK, Prakash CS, Miller HI, Bradford K, Cetiner S, McHughen A, De Stefano-Beltrán L, Chassy BM, AlMomin S, Newell-McGloughlin M, Ammann K, Herring RJ, de Souza L. (2013). We request a serious reconsideration of the recent paper by Seralini et al. alleging tumorigenesis in rats resulting from consumption of corn derived from crops improved through biotechnology (Séralini et al., 2012). *Food Chem Toxicol*. 53:455-6.

Romeis J., Shelton A. & Kennedy G. (2008). Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programs. New York: Springer

Ronald P.C. & R.W. Adamchak (2008). Tomorrow's table: organic farming, genetics and the future of food. Oxford University Press.

Ryffel, G.H. (2011) Dismay with GM maize. *EMBO reports* 12: 996-999

Sadashivappa P, Qaim M. (2009). Effects of Bt cotton in India during the first five years of adoption. Presented at Int. Assoc. Agric. Econ. Triennial Conf., Beijing, China

Saji H., Nakajima N., Aono M., Tamaoki M., Kubo A., Wakiyama S. Hatase Y. & Nagatsu M. (2005). Monitoring the escape of transgenic oilseed rape around Japanese ports and roadsides. *Environ. Biosafety Res*. 4: 217–222

Saxena D., Flores S. & Stotzky G. (1999). Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature* 402: 480

Schenkelaars P, de Vriend H, Kalaitzandonakes N. (2011). Drivers of consolidation in the seed industry and its consequences for innovation. Report commissioned by COGEM.

Sears M.K., Hellmich R.L., Stanley-Horn D.E., Oberhauser K.S., Pleasants J.M., Mattila H.R., Siegfried B.D. & Dively G.P. (2001). Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. *Proc. Natl. Acad. Sci.USA.* 98: 11937-11942

Séralini GE, Clair E, Mesnage R, Gress S, Defarge N, Malatesta M, Hennequin D, de Vendômois JS. (2012). Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Food Chem Toxicol.* 50: 4221-31.

Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. (2012). Comparing the yeilds of organic and conventional agriculture. *Nature* 485:229-32.

Shukla VK, Doyon Y, Miller JC, DeKelver RC, Moehle EA, Worden SE, Mitchell JC, Arnold NL, Gopalan S, Meng X, Choi VM, Rock JM, Wu YY, Katibah GE, Zhifang G, McCaskill D, Simpson MA, Blakeslee B, Greenwalt SA, Butler HJ, Hinkley SJ, Zhang L, Rebar EJ, Gregory PD, Urnov FD (2009). Precise genome modification in the crop species Zea mais using zinc-finger nucleases. *Nature* 459: 437-41.

Simberloff D, Martin JL, Genovesi P, Maris V, Wardle DA, Aronson J, Courchamp F, Galil B, García-Berthou E, Pascal M, Pyšek P, Sousa R, Tabacchi E, Vilà M. (2013). Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends Ecol. Evol.* 28: 58-66.

Stein AJ, Sachdev HPS, Qaim M. (2006). Potential impact and cost-effectiveness of Golden Rice. *Nat. Biotechnol*. 24:1200–1

Stewart C.N. Jr., Halfhill M.D. & Warwick S.L. (2003). Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nature* 4: 806-817

Subramanian A, Qaim M. (2009). Village-wide effects of agricultural biotechnology: the case of Bt cotton in India. *World Dev*. 37:256–67

Tabashnik BE, Brévault T, Carrière Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nat Biotechnol.* 31:510-21.

Tang G, Hu Y, Yin SA, Wang Y, Dallal GE, Grusak MA, Russell RM. (2012). β-Carotene in Golden Rice is as good as β-carotene in oil at providing vitamin A to children. *Am J Clin Nutr*. 96, 658-64.

Tester, M. (2008). Organic and GM – why not? *Science* 322: 1190-1191

Thirtle C, Beyers L, Ismael Y, Piesse J. (2003). Can GM-technologies help the poor? The impact of Bt cotton in Makhathini Flats, KwaZulu-Natal. *World Dev*. 31:717–32

Tothova M, Oehmke JF. (2005). Whom to join? The small-country dilemma in adopting GM crops in a fragmented trade environment. *Q. J. Int. Agric*. 44:291–310

Townsend JA, Wright DA, Winfrey RJ, Fu F, Maeder ML, Joung JK, Voytas DF (2009). High-frequency modification of plant genes using engineered zinc-finger nucleases. *Nature* 459: 442-5.

Trigo EJ, Cap EJ. (2006). Ten Years of Genetically Modified Crops in Argentine Agriculture. Buenos Aires: Argent. Counc. Inf. Dev. Biotechnol.

Van Gessel M.J. (2001). Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Science*. 49: 703–705

Von Braun J. (2007). The world food situation: new driving forces and required actions. Food Policy Rep. 18, Int. Food Policy Res. Inst., Washington, DC

Warwick S.I., Simard M.-J., Légère A., Beckie H.J., Braun L., Zhu B., Mason P., Séguin-Swartz G., Stewart C.N. (2003) Hybridization between transgenic *Brassicanapus L.* and its wild relatives: *Brassicarapa L.*, *Raphanusraphanistrum L., Sinapisarvensis L.,* and *Erucastrumgallicum* (Willd.) O.E. Schulz. *Theor Appl Genet.* 107: 528–539

Warwick S.I., Beckie H.J. & Hall L.M. (2009). Gene Flow, Invasiveness, and Ecological Impact of Genetically Modified Crops. *The year in evolutionary Biology*. 1168: 72–99

Winston, M.L. (2002). Travels in the genetically modified zone. Harvard University Press

Wilkinson M.J., Sweet J. & Poppy G.M. (2003). Risk assessment of GM plants: avoiding gridlock? *Trends in Plant Science*. 8: 208-212

Wilkinson M. & Tepfer M. (2009). Fitness and beyond: Preparing for the arrival of GM crops with ecologically important novel characters. *Environ. Biosafety Res.* 8: 1-14

Wolfenbarger L.L., Naranjo S.E., Lundgren J.G., Bitzer R.J., Watrud L.S. (2008). Bt crops effects on functional guilds of non-target arthropods: a meta-analysis. PLoS ONE. 3 p.11

Wu F. (2002). Bt or not Bt? Tools for regulatory decisions concerning genetically modified corn. PhD thesis. Eng. Public Policy, Carnegie Mellon Univ.

Yorobe JM Jr, Quicoy CB. (2006). Economic impact of Bt corn in the Philippines. *Philipp. Agric. Sci.* 89:258–67

Zhang, L. et al. (2011). Exogenous plant MIR168a specifically targets mammalian LDLRAP1: evidence of cross-kingdom regulation by microRNA. *Cell Res*. 22, 107–126

Extra referenties i.v.m. monitoring-benaderingen:

Crawley M.J., Brown S.L., Hails R.S., Kohn D.D., Rees M. (2001). Transgenic crops in natural habitat. *Nature* 409: 682-683

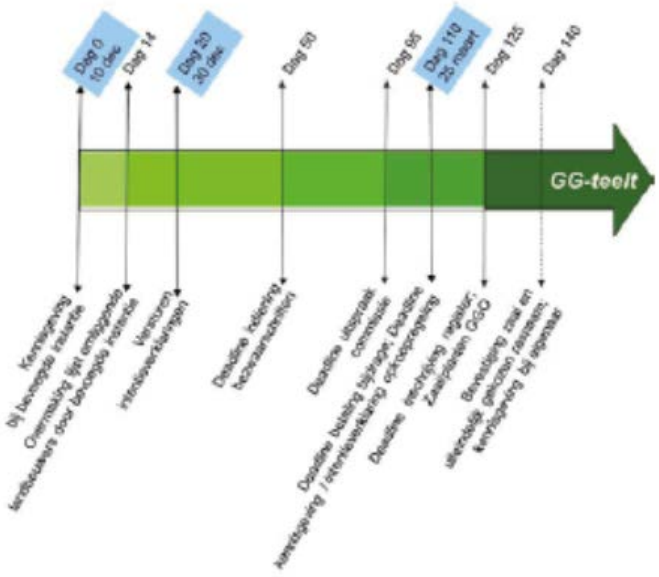
Kok E.J. & Kuiper H.A. (2003). Comparative safety assessment for biotech crops. *Trends in Biotechnology*. 21: 439-444

Paoletti C., Flamm E., Yan W., Meek S., Renckens S., Fellous M. & Kuiper H. (2008). GMO risk assessment around the world; some examples. *Trends in Food Science & Technology* 19: 70-78

BIJLAGE

Een voorbeeld van co-existentieregelgeving voor maïs:[56]

1. Er moet voor 10 december van het voorafgaande jaar een kennisgeving van de intentie gebeuren aan de bevoegde overheidsdienst, waarvoor een hele reeks administratieve en kadastrale gegevens moeten worden aangeleverd. Deze dienst stelt de landbouwer in kennis van de percelen van andere landbouwers die binnen de afstandsregeling vallen (met veiligheidsmarge bedraagt deze afstand 100 m; wettelijk 50 m).
2. Deze landbouwers moeten door de landbouwer die de intentie heeft ggo-maïs te zaaien voor 30 december in kennis gesteld worden via een speciaal formulier. De ggo-toepassing wordt slechts toegelaten als er geen economische bezwaren zijn van de gebruikers van deze buurtpercelen. Deze bezwaren moeten 1 maand na kennisgeving aan de bevoegde instantie worden overgemaakt. Een commissie oordeelt over de gegrondheid van het bezwaar en stelt de bevoegde instantie daar binnen de 45 dagen van in kennis. De commissie kan de teelt toelaten, verbieden of bijkomende voorwaarden opleggen. Met de exploitanten van buurtpercelen kan een ook opkoopregeling worden afgesproken.
3. De landbouwer die de intentie heeft om ggo-maïs te zaaien moet na toestemming van de bevoegde instantie 15 €/ha aan een verzekeringsfonds betalen. Na betaling wordt de landbouwer definitief geregistreerd, waarvoor ook een procedure bestaat.
4. De definitieve inzaai moet worden bevestigd en in geval van een huurperceel moet de eigenaar op dat moment verwittigd worden.



Figuur 12. Schematische voorstelling van de procedure die de landbouwer moet volgen om de toestemming te krijgen wettelijk toegelaten ggo-maïs te zaaien.

56 http://lv.vlaanderen.be/nlapps/data/docattachments/PB_20111118_Vademecum_Opleiding_Co_existentie_def.pdf

5. Speciale maatregelen worden aan de landbouwer opgelegd om ongewenste verspreiding van niet-gebruikt zaaizaad te vermijden. Zaaigoed moet gescheiden opgeslagen worden.
6. Alle machines die bij de teelt van ggo-maïs gebruikt worden, moeten worden gereinigd.
7. Bestrijding of verwijdering van eventuele opslagplanten in het volgende teeltseizoen en dit voor bloei.
8. Verbod op doorverkoop of weggeven van zaaizaad.
9. Fysieke scheiding van oogst bij transport en opslag.
10. Loonwerkers of landbouwers met wie machines gedeeld worden, moeten op de hoogte worden gesteld. Loonwerkers moeten machines reinigen na gebruik in een ggo-veld.

Daarnaast zijn er nog, dikwijls vrij omslachtige, procedures voor:

- administratieve verplichtingen na de uitzaai
- de monitoring, opvolging en het ter beschikking houden van informatie door de bevoegde instantie
- het indienen van schadedossiers en de wijze waarop schadedossiers worden behandeld
- de wijze waarop de schade moet worden vastgesteld
- bepaling van de grootte van geleden schade
- hoe eventuele schade wordt vergoed
- administratieve boetes in geval van inbreuken

Door de overheid wordt aan de teler nog een hele reeks aanbevelingen gedaan die best in acht genomen worden.