

Gene Editing — Oude wijn in nieuwe zakken



WOUTER VANHOVE

Inleiding

Begin juli lanceerde de Europese Commissie (EC) een voorstel (EC, 2023) voor nieuwe regelgeving voor planten die met nieuwe gentechnieken (*gene editing*, hier verder genbewerking genoemd) werden veredeld. Voortaan zou een onderscheid gemaakt worden tussen ‘transgene’ planten (waarin ‘vreemd’ DNA werd ingebracht) en planten die ‘niet wezenlijk verschillen’ van planten die ook met conventionele veredelings technieken ontwikkeld zouden kunnen worden. Eerder, in 2018, had het Europees Hof van Justitie echter geoordeeld dat ook de nieuwe gentechnieken onder dezelfde

regulering (2001/18/EC) vallen als die waaraan ‘klassiek’ genetisch gewijzigde organismen (ggo’s) sinds 2001 onderhevig zijn.

Een bedrijf dat ggo’s wil importeren of telen in de Europese Unie moet volgens die regelgeving vooraf een aanvraag richten aan het Europese Voedselveiligheidsagentschap (*European Food Safety Agency* — EFSA). Die beoordeelt samen met de bioveiligheidsraden van de lidstaten de ggo’s op hun veiligheid voor gezondheid van mens en dier en voor het Europese milieu. Bij een gunstig advies

neemt de EC een ontwerpbesluit dat vervolgens door een expertenvergadering van vertegenwoordigers van de lidstaten wordt gestemd met een gekwalificeerde meerderheid. Indien geen meerderheid voor de toelating wordt gevonden, komt de uiteindelijke beslissing terug bij de Commissie te

“

Zijn planten die met nieuwe gentechnieken worden ontwikkeld *a priori* veiliger dan de eerdere ggo’s?

liggen. Dat hele proces moet de Europese consumenten en het milieu beschermen tegen potentiële onbedoelde negatieve neveneffecten van de ggo's. De wetgeving is er destijds gekomen omwille van de onzekerheid die er heerste over de bedoelde of onbedoelde eigenschappen van gewassen die met biotechnologie werden ontwikkeld.

Het nieuwe voorstel van de Commissie roept vele vragen op. Zijn planten die met nieuwe gentiche technieken worden ontwikkeld *a priori* veiliger dan de eerdere ggo's? Op basis van welke criteria kan men een onderscheid maken tussen veilige planten en planten die aan een grondige screening moeten worden onderworpen? Dit stuk gaat wat dieper op die vragen in. Verder wordt ook bekeken of de nieuwe gentiche technieken werkelijk bijdragen tot een duurzamer landbouw- en voedselsysteem, zoals de voorstanders van een soepelere wetgeving voor spiegelen. In een eerdere bijdrage (Vanhove, 2016) werd hiervoor een agro-ecologisch kader gebruikt en werd geconcludeerd dat ggo's en agro-ecologie moeilijk met elkaar te verzoenen zijn en zelfs vaak met elkaar in conflict komen. De huidige analyse gebruikt de tien agro-ecologische principes van de Voedsel- en Landbouworganisatie van de VN (FAO) (Clement & Ajena, 2021; FAO, 2018) als kapstok om de duurzaamheid van nieuwe gentiche technieken te evalueren.

Nieuwe gentiche technieken

We staan eerst even stil bij wat die nieuwe gentiche technieken precies inhouden en hoe ze zich onderscheiden van klassieke ggo's. Het vernieuwende aan de modernste technieken in de biotechnologische gewasveredeling is dat niet langer grote stukken genetische informatie uit niet-verwante (planten) soorten worden geknipt en in een gewas worden ingebracht, maar dat er gerichte veranderingen worden aangebracht in het genetisch materiaal van de plant om haar eigenschappen te verbeteren. Ten opzichte van de vroegere technieken is genbewerking een goedkoper en sneller veredelingsproces (Nerkar et al., 2022).

Er worden drie categorieën van genbewerking bij planten onderscheiden; SDN1 (*Site-Directed Nuclease 1*), SDN2 en SDN3, elk met verschillende kenmerken en toepassingen. SDN1 is de eenvoudigste vorm van genbewerking en omvat het invoegen

of verwijderen van kleine stukjes DNA (indels) in het bedoelde gen. Deze techniek wordt meestal gebruikt om genen uit te schakelen die verantwoordelijk zijn voor vatbaarheid van gewassen voor ziekten of plagen, waardoor hun resistentie wordt verbeterd. Bij SDN2 wordt doelgericht een bepaald DNA-segment vervangen door een ander stuk. Hierbij wordt meestal het veelbesproken *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (CRISPR)-systeem gebruikt. SDN3 is de meest geavanceerde vorm van genbewerking en omvat meerdere gelijktijdige wijzigingen in het genoom van de plant. Ook hier wordt meestal gebruik gemaakt van CRISPR-technologie. Met SDN3 wordt getracht om complexe kenmerken, zoals verbeterde droogtetolerantie in combinatie met plaagresistentie en verbeterde voedingswaarde in gewassen te introduceren (Pixley et al., 2022).

Met deze drie categorieën genbewerking kan een veel bredere waaier aan kenmerken in planten worden ingebouwd met een hogere snelheid dan bij eerdere — transgene — ggo's het geval was (Kawall et al., 2020). Het gaat bijvoorbeeld om verhoogde tolerantie tegen droogte (Raza et al., 2020) (met heel wat kanttekeningen, zie verder), virusresistentie (Chandrasekaran et al., 2016), herbicidenresistentie (Li et al., 2016), wijzigen van de voedingswaarde van planten, bijvoorbeeld verhogen van het ijzer- en zinkgehalte in rijst (biofortificatie) (Trijatmiko et al., 2016), aanpassing van de bloeiperiode (bijvoorbeeld om in een bepaald seizoen, vóór droogteperiodes aanbreken, geoogst te kunnen worden) (Kishchenko et al., 2020), tolerantie tegen zoute bodems (Zhang et al., 2019), en een langere bewaartijd voor groenten en fruit (Nonaka et al., 2023).

Deregulering

De Europese Commissie stelt nu dus voor om een bepaalde categorie van deze genbewerkte gewassen (NGT1 — *New Genomic Techniques 1*) van de ggo-regulering uit 2001 te ontheffen. Om die nieuwe categorie van andere genbewerkte gewassen te onderscheiden, hanteert de EC een nogal merkwaardige definitie. NGT1-planten mogen maximaal twintig modificaties bevatten. Die mogelijke modificaties staan opgelijst in Annex I van het voorstel. Het gaat om (i) substitutie of toevoeging van niet meer dan 20 nucleotides (lettertjes in

de DNA-code) aan het DNA van de plant; (ii) het wegnippen van een willekeurig aantal nucleotides; (iii) intragenese, waarin genen van dezelfde of nauw verwante plantensoorten worden ingebracht; (iv) inversie (omkeren van de DNA-sequentie) van een willekeurig aantal nucleotides; en (v) het voorkomen van het kenmerk in de genenpool van de plantenveredelaars. Met dat laatste wordt eigenlijk bedoeld dat als een gen (NGT of ander) voorkomt bij reeds toegelaten gewassen, en via genbewerking in nieuwe variëteiten terechtkomt, die nieuwe variëteit als NGT1 wordt beschouwd. Op termijn kunnen zo tientallen nieuwe genen en dus kenmerken in planten worden ingebouwd zonder dat de plant in de tweede, gereguleerde categorie genbewerkte planten zou vallen. Mogelijke interacties tussen de kenmerken die op die manier worden gecombineerd, en hun potentiële effecten op mens en milieu (Koller *et al.*, 2023) worden daarbij genegeerd.

Deze regelgevende benadering is om verschillende redenen problematisch. Eerst en vooral is het niet duidelijk of de twintig toegelaten modificaties gelden voor één kopie van de genen of voor allemaal (de meeste soorten hebben twee kopieën, sommigen vier of zes). Verder houden deze criteria op geen enkele manier rekening met zogenaamde *off target events*. Dat zijn onbedoelde wijzigingen die zich niet enkel kunnen voordoen op het bedoelde te bewerken gen (Hahn & Nekrasov 2019), maar ook ver van de bedoelde plek. Die onbedoelde wijzigingen doen zich vooral bij de CRISPR-techniek frequent voor (Yang *et al.*, 2022). Hierbij worden stukjes DNA verplaatst, weggeknipt, verdubbeld, omgedraaid of door elkaar geklutst (Chakrabarti *et al.*, 2019; Kapusi *et al.*, 2017; Manghwar *et al.* 2020; Molla & Yang, 2020). De biologische gevolgen voor de biochemische (nutritionele) samenstelling en het metabolisme van de NGT-planten zijn ongekend.

Voorstanders van deregulering van genbewerkte gewassen wuiven die bezorgdheid echter vaak weg. In conventionele plantenveredeling (kruisingen) worden immers ook vaak DNA-fragmenten willekeurig verplaatst of omgekeerd. Bij zogenaamde random mutagenese worden opzettelijk met radioactieve stralen of met chemicaliën een groot aantal willekeurige wijzigingen in het DNA aangebracht om genetische variatie te creëren waarbij dan toevallig

gunstige kenmerken kunnen opduiken. Random mutagenese is vrijgesteld van de huidige wetgeving wegens haar lange, veilige gebruiksgeschiedenis sinds de jaren '60. Waarom dan strenger zijn voor genbewerking die gelijkaardige variatie veroorzaakt? In werkelijkheid verschillen de onbedoelde effecten in NGT's wel degelijk van die bij conventionele veredeling of bij random mutagenese. De onbedoelde wijzigingen in NGT's vinden plaats op locaties in het genoom die normaal gezien goed zijn afgeschermd voor mutaties. Op die plekken komen door genbewerking dan plots onbedoelde wijzigingen heel frequent voor (Monroe *et al.*, 2022). Die wijzigingen zijn uiteraard niet noodzakelijk nefast voor het biologisch functioneren van de planten. Experts zijn het er echter over eens dat over die wijzigingen nog geen wetenschappelijke informatie beschikbaar is (Sturme *et al.*, 2022). Vaak komt dat omdat er gewoon niet naar wordt gezocht. In het voorstel van de EC worden de *off target events* in elk geval straal genegeerd. Het is een flagrante aanfluiting van het voorzorgsprincipe dat nochtans door de Europese Unie al decennia als uitgangspunt voor Europese (milieu)wetgeving wordt gehanteerd (Vanhove, 2015).

De EC gaat er in haar voorstel verder van uit dat heel kleine genetische wijzigingen (vervangen of wegnippen van enkele DNA-lettertjes) onschadelijker zijn dan wanneer grote stukken (vreemd) DNA in planten worden ingebracht. Heel kleine veranderingen kunnen echter verregaande gevolgen hebben voor het functioneren van een plant. Herbicidenresistentie kan met soms enkele kleine wijzigingen in een plant worden bewerkstelligd. De gevolgen voor het milieu (massaal herbicidegebruik, verstoring van het microbiële bodemleven en onkruidresistentie) (van Bruggen *et al.*, 2022; Baek *et al.*, 2021) en de gezondheid (Costas-Ferreira *et al.*, 2022) zijn echter groot.

Het wegnippen of omkeren van stukken DNA kan ervoor zorgen dat bepaalde andere genen anders vertaald worden in eiwitten en enzymen en dus de eigenschappen van de plant veranderen. Ook dit is niet noodzakelijk problematisch (dit komt ook voor bij klassieke verdelingsmethodes), maar door het wegnippen van (grote) stukken DNA te aanzien als één enkele modificatie (en als een van de twintig modificaties die als criterium worden gehanteerd

om binnen NGT1 te vallen) minimaliseert de EC mogelijke gevolgen die hieraan verbonden zijn.

Intragenese is een proces waarbij genen biotechnologisch geknipt en geplakt worden tussen variëteiten van eenzelfde plant (cisgenese) of tussen nauw verwante soorten. Men beschouwt alle genen die op die manier met elkaar kunnen uitgewisseld worden als behorend tot dezelfde 'genenpoel'. De EC gaat ervan uit dat het inbrengen van zo'n gen evengoed kan bewerkstelligd worden door die variëteiten op een klassieke manier te kruisen, en dat intragenese daarom gedereguleerd kan worden. Dat klopt echter niet helemaal omdat sommige soorten in de natuur helemaal niet kunnen kruisen, en dit enkel via geavanceerde technieken kan gebeuren waarbij genen via tussensoorten met elkaar kunnen worden uitgewisseld. De genenpoel voor intragenese wordt dus héél breed geïnterpreteerd. Opnieuw houdt dit niet noodzakelijk risico's in, maar voorzichtigheid is geboden wanneer kenmerken via genen in planten worden ingebouwd die er via natuurlijke weg niet in zouden kunnen komen.

Momenteel zou 94% van de NGT-toepassingen die bij planten in de pijplijn zit als NGT1 worden geclassificeerd onder het huidige EC-voorstel (Engelhard, 2023). Die planten zouden dan niet langer gescreend worden op veiligheid voor gezondheid en milieu en zouden ook niet langer als ggo's worden gelabeld op de markt. Voor de biosector is ggo-labeling van cruciaal belang aangezien in de biolandbouw geen ggo's worden aanvaard en de Europese Unie co-existentie tussen landbouw met en zonder ggentechnologie oplegt (EC, 2010).

Ook voor de planten die onder het EC-voorstel uiteindelijk toch als ggo's zouden worden bestempeld (NGT2) zouden er soepelere regels komen. De risicoanalyse zou worden aangepast aan het risicoprofiel van de plant. Het is echter onduidelijk hoe dat profiel moet worden ingeschat. Verder zou – indien de nieuwe kenmerken voldoen aan een aantal alsnog onduidelijke duurzaamheidscriteria – een snellere evaluatieprocedure van kracht zijn en zou de verplichte *labelling* vervangen worden door een meldingsplicht.

Samengevat heeft de EC dus voor nieuwe ggentechnieken een wetgeving voorgesteld die op arbitraire en onwetenschappelijke criteria berust en overduidelijk deregulering tot doel heeft. Het is een flagrante aanfluiting van de wetenschappelijke basis en het voorzorgsprincipe waar Europese wetgeving op is gestoeld. Zelfs het Europees Voedselveiligheidsagentschap is van oordeel dat de gangbare milieu-effectenbeoordeling van oude ggentechnieken perfect op nieuwe ggentechnieken kan en moet worden toegepast (Eckerstorfer *et al.*, 2021).

De bijdrage van *gene editing* aan duurzame landbouw- en voedselsystemen

De tien agro-ecologische principes (Clément & Ajena, 2021) die als kapstok worden gehanteerd voor de agro-ecologische analyse van de nieuwe ggentechnieken nemen de complexiteit en de interconnectiviteit van landbouw- en voedselsystemen als uitgangspunt. Agro-ecologie is een integrale aanpak die tot doel heeft die systemen

te transformeren door de duurzaamheidsproblemen in landbouw en voeding op een systemische manier aan te pakken om zo te komen tot systemen die op lange termijn sociaal, economisch én ecologisch veerkrachtig zijn (HLPE, 2019).

1. Diversiteit. Agro-ecologische systemen bestaan uit diverse



Samengevat heeft de EC dus voor nieuwe ggentechnieken een wetgeving voorgesteld die op arbitraire en onwetenschappelijke criteria berust en overduidelijk deregulering tot doel heeft.



De nieuwe gentechnieken versterken echter een trend die aan de oorzaak van deze ‘genetische erosie’ liggen: een toenemende selectie van variëteiten op kenmerken die vooral gericht zijn op hoge opbrengsten in monocultuursystemen.

aangewezen — met dierlijke productiesystemen (extensieve veehouderij) of met bomen (boslandbouwsystemen). Het inzaaien van verschillende gewassoorten verhoogt de weerstand van het volledige systeem tegen ziektes en plagen, maar ook tegen hitte en droogte. Hoewel nieuwe gentechnieken in principe in staat zijn om diversiteit in de gewassen te verhogen (o.a. door het versnellen van het ‘domesticeren’ van wilde planten tot een gewas), neemt de agrobiodiversiteit (de biodiversiteit in landbouwgewassen) zienderogen af. Ongeveer 6000 plantensoorten kunnen wereldwijd voedsel produceren. Niettemin wordt 66% van onze voeding uit slechts negen planten (suikerriet, suikerbiet, maïs, rijst, tarwe, aardappelen, sojabonen, oliepalm en maniok) gehaald (Jones *et al.*, 2021). Op 100 jaar tijd is het aantal geteelde rijstvariëteiten gekrompen tot 25% van het oorspronkelijke aantal. In dezelfde periode is het aantal commercieel geteelde groentenvariëteiten ingekrompen met 85 tot 95% (Khoury *et al.*, 2021). Deze terugval in agrobiodiversiteit is uiteraard niet aan nieuwe gentechnieken te wijten (die pas recent werden geïntroduceerd). De nieuwe gentechnieken versterken echter een trend die aan de oorzaak van deze ‘genetische erosie’ liggen: een toenemende selectie van variëteiten op kenmerken die vooral gericht zijn op hoge opbrengsten in monocultuursystemen. Bovendien dreigen de door nieuwe gentechnieken onbedoelde wijzigingen (zie hogerop)

in de lokale gewasdiversiteit in te kruisen, want onomkeerbare effecten kan hebben op het toekomstig veredelingspotentieel van de lokale variëteiten.

2. Co-creatie en het delen van kennis, wetenschap en innovatie. Biotechnologische innovaties worden in laboratoria ontwikkeld, terwijl landbouwers zelf over onschatbare kennis (‘boerenwijsheid’) beschikken. Hoewel de nieuwe gentechnieken

goedkoper en sneller toepasbaar zijn dan eerdere ggo-genetische, zijn er — zeker in het Zuiden — tal van barrières voor kleinschalige veredelaars die ermee aan de slag willen. Ook nieuwe gentechnieken zijn spitstechnologie die veel wetenschappelijke kennis, expertise, geld en infrastructuur vereist. Bovendien worden ook de variëteiten die met de nieuwe technieken worden ontwikkeld, afgeschermd door patenten. Initiatieven zoals participatieve veredeling (Ceccarelli & Grando, 2022) vormen een alternatief. Hierbij werken plantenveredelaars intensief samen met landbouwers om gewassen te selecteren en te veredelen volgens de lokale noden. Het is een gedecentraliseerde aanpak die veel potentieel heeft om agrobiodiversiteit in de toekomst veilig te stellen en zo bij te dragen aan lokale voedselzekerheid.

3. Synergie. Agro-ecologische systemen creëren synergie (versterkende samenwerking) tussen de verschillende componenten (plant, dier, bodem, biodiversiteit) in het landbouwsysteem. Nieuwe gentechnieken vertrekken echter nog steeds van top-down geïdentificeerde kenmerken (algemene plaagresistentie bijvoorbeeld) die niet altijd een antwoord bieden op de complexe en hoogst variabele lokale omstandigheden waarin gewassen worden geteeld. Het zijn biologische innovaties in één gewas die mikken op lineaire interacties met de omgeving. Een vaak gehoord argument voor de verdere ontwikkeling en toepassing van nieuwe



Samen met het lage gebruik van reeds bestaande droogtetolerante maïsvariëteiten in Sub-Sahara Afrika, ziet het er dus niet naar uit dat we van genbewerking veel moeten verwachten op gebied van droogteresistentie.

gentechnieken is dat ze landbouwsystemen bestand zullen maken tegen droogte (Joshi *et al.*, 2020), die door klimaatverandering in veel gebieden in de wereld (zeker in de tropen) bijkomende stresscondities aan de gewasteelt zal opleggen. Zo werkt bijvoorbeeld het vermaarde Maïs- en Tarwe-Veredelingsinstituut (CIMMYT)¹ al meer dan vijftien jaar in haar project Droogtetolerante Maïs voor Afrika (DTMA) aan maïsvariëteiten met verhoogde droogtetolerantie. Die brengen bij 'milde droogte' ongeveer 1 ton per hectare meer op dan de huidige variëteiten (Shikuku *et al.*, 2019). Die variëteiten vinden echter beperkt ingang onder Afrikaanse boeren. Dat heeft te maken met de precare socio-economische omstandigheden waaronder die boeren werken en die men vanuit gentechnologisch oogpunt al te vaak over het hoofd ziet. Droogtetolerantie is een lastig en complex genetisch kenmerk. Het potentieel om planten via genetische weg droogteresistent maken is dan ook beperkt. Genbewerkingstechnieken trachten voor droogteresistentie meestal de gebruiksefficiëntie van water en nutriënten (zoals stikstof) bij planten te verhogen. Dat heeft echter zijn limieten. Boven bepaalde droogteniveaus smelten de opbrengsteffecten weg. Het inkruisen van droogteresistente genen gaat bovendien vaak ten koste van andere belangrijke plantenkenmerken. Samen met het lage gebruik van reeds bestaande droogtetolerante maïsvariëteiten in Sub-Sahara Afrika, ziet het er dus niet naar uit dat we van genbewerking

veel moeten verwachten op gebied van droogteresistentie. Inzetten op de combinatie en de synergieën van reeds bestaande variëteiten met teelttechnieken zoals de mengteelt met bonen, bodembedekkers en sociale maatregelen die inputs meer toegankelijk maken (Renwick *et al.*, 2021) zullen een veel hoger effect op droogtetolerantie teweegbrengen.

4. Efficiëntie. Door de inzet van natuurlijke hulpbronnen (bodemnutriënten, licht, water, etc.) beter op elkaar af te stemmen, zijn agro-ecologische systemen minder afhankelijk van externe inputs zoals meststoffen en pesticiden. Efficiëntie behelst echter evengoed het zo weinig mogelijk verstoren van de bodem om een bepaalde opbrengst te verkrijgen als het het inperken van fossiele brandstoffen om landbouwproducten op de markt te brengen (Wezel *et al.*, 2020). Biotechnologen kloppen zich op de borst omdat nieuwe gentechnieken ook hier revolutionaire bijdragen zouden kunnen leveren, bijvoorbeeld door het drastisch inperken van pesticidengebruik bij *Bt*²-gewassen, optimalisatie van de fotosynthese, de efficiëntie waarmee nutriënten uit de bodem (of uit meststoffen) worden gebruikt in de productie van biomassa, of door het niet meer verstoren van de bodem bij herbicidetolerante (zgn. *Roundup Ready*) gewassen³. Door herbicidetolerante gewassen is het herbicidengebruik (met name dat van glyfosaat) in sommige delen van de wereld echter massaal gestegen (Perry *et al.*, 2016). Hierdoor zijn wereldwijd al tientallen onkruidsoorten resistent geworden tegen glyfosaat (Heap & Duke, 2017). Ook het verminderde insecticidenverbruik door *Bt*-gewassen is slechts één keerzijde van de medaille. In punt 6 (Veerkracht) wordt hier wat dieper op ingegaan.

- 5. Recyclage.** Agro-ecologische systemen maken gebruik van natuurlijke (biologische) processen om nutriënten, water en biomassa te recyclen om zo de economische en milieukosten van het landbouwsysteem minimaal te houden. Dat is het uitgangspunt van onder andere mengteelt- en boslandbouwsystemen waarbij men kringlopen probeert te sluiten zodat water en mineralen zoveel mogelijk binnen het systeem zelf worden gerecycleerd. De producten die nieuwe gentechnieken voortbrengen zijn *an sich* niet in conflict met deze doelstelling. Problematisch wordt het wel wanneer genbewerking wordt gebruikt in hybride zaaigoed dat niet door boeren kan worden hergebruikt omdat de nakomelingen van hybriden de interessante eigenschappen van het oorspronkelijke zaaigoed verliezen. Het 'recycleren' van zaaigoed in participatieve veredelingsinitiatieven (zie punt 2 'Co-creatie') wordt sowieso uitgesloten door de intellectuele eigendomsrechten die ook op de nieuwe gentechnieken door haar ontwikkelaars via patentering worden uitgeoefend.
- 6. Veerkracht.** Door de valorisatie van agro- en biodiversiteit (zie punt 1) bevordert agro-ecologie de veerkracht van mensen, gemeenschappen en ecosystemen. Nu landbouwsystemen door de klimaat- en biodiversiteitscrisis onder toenemende druk staan, wordt veerkracht meer en meer belangrijk in de duurzaamheid van landbouw en voeding. Biotechnologische oplossingen die naar voren worden geschoven, doen echter vaak niet meer dan symptoombestrijding waardoor échte, langdurige veerkracht

uitblijft. Twee voorbeelden illustreren dit. 'De kans is groot dat er binnen vijf tot vijftien jaar geen bananen meer in onze supermarktrekken liggen' kopte *De Morgen* nogal dramatisch in 2019 (*De Morgen*, 2019). De grote boosdoener is de Panamaziekte (veroorzaakt door de schimmel *Fusarium oxysporum*), die ná in Afrika en Azië nu ook in Latijns-Amerika, wereldwijd de grootste exportbananenteeltregio, lelijk huishoudt en er jaarlijks honderden hectares vernielt. Tot in de jaren '50 behoorden vrijwel alle bananen op de Europese markt tot de variëteit 'Gros Michel'. De Panamaziekte decimeerde toen nagenoeg de volledige Gros Michel-teelt. De (iets minder smakelijke) Cavendish variëteit bleek resistent tegen de Panamaziekte, en verving gaandeweg de Gros Michel. Het is momenteel de enige bananenvariëteit die in Europa wordt verkocht. Er is echter een nieuwe variant van de Panamaziekte (TR4) uitgebroken waar ook Cavendish-bananen heel vatbaar voor zijn. Een nieuwe transgene banaan (Stokstad, 2017), kan de resistentie tegen de Panamaziekte in bananen terugdringen. Bananengiganten zoals Dole en Chiquita zullen die echter niet snel op de markt brengen omwille van ggo-scepsis bij de consumenten. Bovendien is het waarschijnlijk dat een nieuwe variant van de Panamaziekte de nieuwe resistentie opnieuw zal doorbreken. Een straatje zonder einde dus. Dit toont aan dat het tijd wordt om de duurzaamheidsproblemen van grote tropische monoculturen fundamenteel aan te pakken. Men kan meerdere (resistente en smakelijke) bananenvariëteiten dooreen gaan telen. Het is ook aangetoond dat mengteeltsystemen zoals boslandbouw de Panamaziekte kan onderdrukken (Deltour *et al.*, 2017). Een ander voorbeeld is de legerrups (*Spodoptera frugiperda*), die grote schade toebrengt aan Afrikaanse maïs. Door de warmtegevoeligheid van deze rups (Yan *et al.*, 2022) zal klimaatverandering

“

Nu landbouwsystemen door de klimaat- en biodiversiteitscrisis onder toenemende druk staan, wordt veerkracht meer en meer belangrijk in de duurzaamheid van landbouw en voeding.

de problematiek vergroten, een dynamiek die nu al aan de gang is. Experimenten met ggo-maïs die een toxine (*Bt*) tegen de rups produceert (Van den Berg *et al.*, 2021), wijzen op snel toenemende *Bt*-resistentie. Men kan dit eventueel opvangen door minstens de helft van de planten in het grensgebied van de akkers met gewone maïs te beplanten. Dat is hopeloos complex. Het is slimmer en efficiënter om in te zetten op vroege waarschuwingssystemen voor de legerrups, aangepaste zaaitijden (met hiervoor aangepaste variëteiten), teeltrotaties en bestrijding met natuurlijke vijanden (Van den Berg *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2022). Veerkracht vergt dus steeds een systemische aanpak. De potentiële bijdrages van biotechnologie zijn dan eerder beperkt.

7. Sociale waarden. Inclusie en (gelijk)waardigheid zijn kernwaarden in de agro-ecologie. De verlangens en noden van wie voedsel produceert, verwerkt, verkoopt en consumeert behoren tot de kern van het agro-ecologisch handelen. In het Zuiden wordt ongeveer een derde van de voeding geproduceerd door kleinschalige telers, die wel 80% uitmaken van de landbouwgemeenschappen (Ricciardi *et al.*, 2018). Biotechnologische toepassingen richten zich momenteel echter nog steeds grotendeels op grootschalige monoculturen. Niettemin worden sommige (insecticideproducerende) *Bt*-gewassen (bijvoorbeeld katoen en aubergines) met succes geteeld door kleinschalige telers, vooral in Zuidoost-Azië, waar ze leiden tot hogere opbrengsten (Kathage & Qaim, 2012) en verlaagd pesticidengebruik (Kouser & Qaim, 2011). Toch is enige scepsis aangewezen. De zaden zijn eigendom van grote agrochemische concerns, worden via dure licenties aan boeren verkocht en moeten samen met dure meststoffen worden toegepast om rendabele opbrengsten te garanderen, wat de productiekosten doet stijgen. Zolang de plaaginsecten gevoelig blijven voor het *Bt*-proteïne, kunnen de meeropbrengsten dit compenseren. Ook in katoen echter werd *Bt*-resistentie al aangetoond (Kranthi & Stone, 2020). Hierdoor kan de balans plots in de andere richting doorslaan en kunnen boeren plots met onbetaalbaar hoge kosten en dus schulden worden opgezadeld.

Ondertussen verdwijnen tal van andere traditionele katoen- en auberginevariëteiten uit de kleinschalige landbouwsystemen.

8. Voedseltradities. Agro-ecologie verhoogt voedselzekerheid door het ondersteunen van gediversifieerde, cultureel geaccepteerde voeding. Het is uiteraard goed dat teelten meer gaan opbrengen (zie vorig punt), maar om haar sociale doelstellingen te verwezenlijken, moeten landbouwsystemen ook bijdragen tot voedselzekerheid. Uniformering van de landbouwproductie met (al dan niet biotechnologisch ontwikkelde) op export gerichte hoge-opbrengstvariëteiten van zetmeelrijke (rijst, tarwe, maïs), proteïnerijke (soja) of niet-eetbare gewassen (katoen) draagt hier niet aan bij. Biotechnologische innovaties zoals de met vitamine A-verrijkte ggo-rijst (Gouden Rijst) (zie ook Vanhove, 2016) verhelpen niet wezenlijk de nutriëntentekorten in ontwikkelingslanden (Egana & MPH&TM, 2003). Om effectief te zijn, moet Gouden Rijst samen met vetten worden ingenomen (Tang *et al.*, 2009). Bovendien neemt het vitamine A-gehalte van Gouden Rijst af bij opslag en verhitting (Gayen *et al.*, 2015). Bovenal bestendigt Gouden Rijst de afhankelijkheid van rijstmonoculturen en houdt dus de lokale teelt van andere (vitamine A-rijke) gewassen tegen, waardoor ook andere belangrijke micronutriëntentekorten (ijzer, zink, vit B12) niet worden aangepakt. Van bepaalde, gangbare groenten (wortel, bladgroenten) volstaat een kleine hoeveelheid om voldoende vitamine A in te nemen. Agro-ecologische innovaties bij het verbeteren van voedselzekerheid zijn met andere woorden weinig gebaat bij het introduceren van één gewas dat versterkt wordt met één enkel micronutriënt. Voedselsystemen die geënt zijn op een hogere agrobiodiversiteit, dragen meer bij tot voedselzekerheid (Lachat *et al.*, 2016).

9. Goed bestuur. De agro-ecologische beweging ijvert voor goed bestuur op verschillende institutionele niveaus, zodat (kleinschalige) landbouwers wereldwijd worden erkend en beschermd in hun rol als beheerders van agro-ecosystemen en de agrobiodiversiteit die ze in zich dragen en van de functies die

deze agro-ecosystemen verrichten voor onder andere voedselzekerheid en natuur (Wezel *et al.*, 2020). Ondanks mooi klinkende initiatieven als de Coalitie voor Verantwoorde Genbewerking in de Landbouw⁴ is er tot op de dag van vandaag geen enkel mondiaal initiatief om nieuwe gentechnieken op internationaal vlak te reguleren (Callaway, 2018). In het begin van deze bijdrage werd al aangegeven waarom goede regulering absoluut is aangewezen. Bovendien leidt de bescherming van de intellectuele eigendomsrechten op nieuwe gentechnieken (de impact van de patenten verschilt daarin niet wezenlijk van die bij eerdere ggo's) tot verhoogde machtsconcentratie in het agro-industrieel complex en dus tot een sterkere stempel die deze actoren drukken op reguleringsbeslissingen omtrent de nieuwe technieken (Montenegro De Wit, 2019).

10. Circulaire en solidaire economie. Agro-ecologie streeft naar een betere verbinding tussen producent en consument van landbouwproducten en wil lokale markten en rurale economische ontwikkeling bevorderen. Sommige genbewerkingsproducten worden ook effectief met deze doelstelling ontwikkeld. Gewassen met een langere bewaartijd kunnen langere afstanden overbruggen en dus nieuwe markten aanboren. Indien genbewerkingstechnieken effectief resulteren in hogere opbrengsten zullen ze — mits de productiekosten niet navenant stijgen — het inkomen van de boeren verhogen. Er werd echter al aangetoond dat genbewerkte planten moeilijk aan te passen zijn aan het lokale milieu, de lokale cultuur en/of voedseltradities en dat resistenties gemakkelijk doorbroken kunnen worden (Tabashnik *et al.*, 2023). Het is dan ook maar de vraag of ze echt lokale markten en economieën kunnen versterken en of de voordelen de tand des tijds — onder andere door klimaatverandering — zullen doorstaan.

Oude wijn in nieuwe zakken

Nieuwe gentechnieken worden voorgesteld als revolutionaire doorbraken in de biotechnologische gewasveredeling. Dat klopt voor een stuk.

Men slaagt erin om een brede waaier aan nieuwe kenmerken op een goedkopere en snellere manier in planten in te brengen dan met vroegere, transgene technieken het geval was. Maar met revoluties moet je opletten. Ze kunnen zowel in goede als in slechte richting ingrijpende en soms onomkeerbare veranderingen in de maatschappij en het milieu tweebrengen. De nieuwe gentechnieken zijn oude wijn in nieuwe zakken: zowel voor de kenmerken zelf (insecticidenproductie, herbicidenresistentie, aangepaste nutritionele samenstelling, etc.), als voor de onbedoelde effecten, zijn er ongekende risico's voor mens en milieu. Ze verschillen daarin niet wezenlijk van oude, transgene gentechnieken.

Net daarom is het noodzakelijk dat omzichtig met de nieuwe technieken moet worden omgesprongen en ze goed gereguleerd moeten worden. Het recente voorstel van de EC stuurt echter net op deregulering aan, wat ingaat tegen het voorzorgsprincipe dat normaal gezien richtinggevend is in het Europese beleid. Men kan zich dan ook afvragen of deze deregulering niet eerder ten goede zal komen aan de aandeelhouders van biotechnologische zaaigoedbedrijven dan aan de noden en de bescherming van boeren en consumenten. Een echt duurzaam voedsel- en landbouwsysteem kan enkel opgebouwd worden door een transitie, weg van mega-monoculturen, machtsconcentratie bij agrochemische concerns en pesticidengebruik, richting agro-ecologische systemen die niet enkel oog hebben voor de biologische innovaties bij enkele gewassen, maar landbouw en voeding in duurzame harmonie met natuur, mens en samenleving willen brengen.

WOUTER VANHOVE verrichtte als bio-ingenieur in de landbouwkunde aan de Universiteit Gent jarenlang onderzoek naar de duurzaamheid van tropische landbouw- en voedselsystemen. Momenteel is hij operationeel directeur bij de herbebossingsorganisatie Lignaverda.

Referenties

- Baek, Y., Bobadilla, L.K., Giacomini, D.A. et al. (2021). Evolution of Glyphosate-Resistant Weeds. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 255, 93-128. DOI: 10.1007/398_2020_55.
- Callaway, E. (2018). CRISPR plants now subject to tough GM laws in European Union. *Nature*, 560(7716), 16-17. DOI: 10.1038/d41586-018-05814-6
- Ceccarelli, S. & Grando, S. (2022). Return to Agrobiodiversity: Participatory Plant Breeding. *Diversity*, 14, 126. DOI: 10.3390/d14020126.
- Chakrabarti, A.M., Henser-Brownhill, T., Monserrat, J. et al. (2019). Target-specific precision of CRISPR-mediated genome editing. *Molecular Cell*, 73, 699-713. DOI: 10.1016/j.molcel.2018.11.031.
- Chandrasekaran, J., Brumin, M., Wolf, D. et al. (2016). Development of broad virus resistance in non-transgenic cucumber using CRISPR/Cas9 technology. *Molecular Plant Pathology*, 17(7), 1140-53. DOI: 10.1111/mp.12375.
- Clément, C. & Ajena, F. (2021). Paths of least resilience: advancing a methodology to assess the sustainability of food system innovations - the case of CRISPR, Agroecology and Sustainable Food Systems, 45(5), 637-653. DOI: 10.1080/21683565.2021.1890307.
- Costas-Ferreira, C., Durán, R. & Faro, L.R.F. (2022). Toxic Effects of Glyphosate on the Nervous System: A Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4605. DOI: 10.3390/ijms23094605.
- Deltour, P., França, S.C., Pereira, O.L. et al. (2017). Disease suppressiveness to Fusarium wilt of banana in an agroforestry system: Influence of soil characteristics and plant community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 173-181. DOI: 10.1016/j.agee.2017.01.018.
- De Morgen* (2019). Bananen getroffen door schimmelziekte. *De Morgen*, 19 Augustus 2019.
- EC (2010). Regulation of the European Parliament and of the Council on guidelines for the development of national co-existence measures to avoid the unintended presence of GMOs in conventional and organic crops. Brussels, Official Journal of the European Union, (2010/C 200/01), Brussels, 70 p.
- EC (2015). Regulation (EU)2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001. 25 November 2015. L327, Brussels, 22 p.
- EC (2023). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on plants obtained by certain new genomic techniques and their food and feed, and amending Regulation (EU) 2017/625. Brussels, 5.7.2023, COM(2023) 411 final, 2023/0226 (COD).
- Eckerstorfer, M.F., Grabowski, M., Lener, M. et al., (2021). Biosafety of Genome Editing Applications in Plant Breeding: Considerations for a Focused Case-Specific Risk Assessment in the EU. *BioTech* 10, 10. DOI: 10.3390/biotech10030010.
- Egana, N.E. & MPH&TM (2003). Vitamin A Deficiency and Golden Rice—A Literature Review. *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*, 13(3), 169-184. DOI: 10.1080/13590840310001619414.
- Engelhard, M. (2023). Where does the EU Commission's path lead to? Analysis of case studies. 10th GMO-Free Europe Conference, Brussels, 07.09.2023, Federal Agency for Nature Conservation (BfN), Berlin, 10 pp.
- FAO (2018). The 10 elements of agroecology: guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 15 pp.
- Gayen, D., Ali, N., Sarkar, S.N. et al. (2015). Down-regulation of lipoxygenase gene reduces degradation of carotenoids of golden rice during storage. *Planta*, 242, 353-363. DOI: 10.1007/s00425-015-2314-4.
- Hahn, F. & Nekrasov, V. (2019). CRISPR/Cas precision: do we need to worry about off-targeting in plants? *Plant Cell Rep*, 38(4), 437-441. DOI: 10.1007/s00299-018-2355-9.
- Heap, I. & Duke, S.O. (2017). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science*, 74, 1040-1049. DOI 10.1002/ps.4760.
- HLPE (2019). Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome, 163 pp.
- Jones, S.K., Estrada-Carmona, N., Juventia, S.D. et al. (2021). Agrobiodiversity Index scores show agrobiodiversity is underutilized in national food systems. *Nature Food* 2, 712-723. DOI: 10.1038/s43016-021-00344-3.
- Joshi, R.K., Bharat, S.S. & Mishra, R. (2020). Engineering drought tolerance in plants through CRISPR/Cas genome editing. *3 Biotech*, 10(9), 400. DOI: 10.1007/s13205-020-02390-3.
- Kapusi, E., Corcuera-Gómez, M., Melnik, S. & Stoger, E. (2017) Heritable genomic fragment deletions and small indels in the putative ENGase gene induced by CRISPR/Cas9 in barley. *Frontiers in Plant Science*, 8, 540. DOI: 10.3389/fpls.2017.00540.
- Kathage, J. & Qaim, M. (2012). Economic impacts and impact dynamics of Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton in India. *Proceedings of the National Acad-*

- emy of Science (PNAS), 109(29), 11652-11656. DOI: 10.1073/pnas.1203647109.
- Kawall, K., Cotter, J. & Then, C. (2020). Broadening the GMO risk assessment in the EU for genome editing technologies in agriculture. *Environmental Sciences Europe*, 32, 106, 1-24. DOI: 10.1186/s12302-020-00361-2.
- Khoury, C., Brush, S., Costich, D.E. et al. (2021). Crop genetic erosion: understanding and responding to loss of crop diversity. *New Phytologist*, 233(1), 84-118. DOI: 10.1111/nph.17733.
- Kishchenko, O., Zhou, Y., Jatayev, S. et al. (2020). Gene editing applications to modulate crop flowering time and seed dormancy. *aBIOTECH*, 1(4), 233-245. DOI: 10.1007/s42994-020-00032-z.
- Koller, F., Schulz, M., Juhas, M. et al. (2023). The need for assessment of risks arising from interactions between NGT organisms from an EU perspective. *Environmental Sciences Europe*, 35, 27. DOI: 10.1186/s12302-023-00734-3.
- Kouser, S. & Qaim, M. (2011). Impact of Bt cotton on pesticide poisoning in smallholder agriculture: A panel data analysis. *Ecological Economics*, 70(11), 2105-2113. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.06.008.
- Lachat, C., Raneri, J. E., Walker Smith, et al., (2017). Dietary species richness as a measure of food biodiversity and nutritional quality of diets. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 115(1), 127-132. DOI: 10.1073/pnas.1709194115.
- Li, J., Meng, X., Zong, Y. et al. (2016). Gene replacements and insertions in rice by intron targeting using CRISPR-Cas9. *Nature Plants*, 12(2), 16139. DOI: 10.1038/nplants.2016.139.
- Manghwar, H., Li, B., Ding, X., Hussain, A., Lindsey, K., Zhang, X. & Jin S. (2020). CRISPR/Cas system in genome editing: methodologies and tools for sgRNA design, off-target evaluation, and strategies to mitigate off-target effects. *Advances in Science*, 7, 1902312. DOI: 10.1002/advs.201902312.
- Montenegro De Wit, M. (2016). CRISPR is coming to agriculture - with big implications for food, farmers, consumers and nature. *Ensia*. Institute on the Environment, University of Minnesota, USA.
- Molla, K.A. & Yang, Y. (2020). Predicting CRISPR/Cas9-induced mutations for precise genome editing. *Trends in Biotechnology*, 38 (2), 136-141. DOI: 10.1016/j.tibtech.2019.08.002.
- Monroe, G., Srikant, T., Carbonell-Bejerano, P. et al. (2022). Mutation bias reflects natural selection in *Arabidopsis thaliana*. *Nature*, 602(7895), 101-105. DOI: 10.1038/s41586-021-04269-6.
- Nerkar, G., Devarumath, S., Purankar, M. et al. (2022). *Advances in Crop Breeding Through Precision Genome Editing*. *Frontiers in Genetics*, 13, 880195. DOI: 10.3389/fgene.2022.880195.
- Nonaka, S., Ito, M. & Ezura, H. (2023). Targeted modification of CmACO1 by CRISPR/Cas9 extends the shelf-life of Cucumis melo var. reticulatus melon. *Frontiers in Genome Editing*, 5, 1176125. DOI: 10.3389/fgened.2023.1176125.
- Perry, E. D., Ciliberto, F., & Hennessy, D.A. (2016). Genetically engineered crops and pesticide use in U.S. maize and soybeans. *Science Advances*, 2(8), e1600850.
- Pixley, K.V., Falck-Zepeda, J.B., Paarlberg, R.L. et al. (2022). Genome-edited crops for improved food security of smallholder farmers. *Nature Genetics*, 54, 364-367. DOI: 10.1038/s41588-022-01046-7.
- Raza A., Charagh, S., Zahid, Z. et al. (2021). Jasmonic acid: a key frontier in conferring abiotic stress tolerance in plants. *Plant Cell Reports*, 40(8), 1513-1541. DOI: 10.1007/s00299-020-02614-z.
- Ricciardi, V., Ramankutty, N., Mehrabi, Z. et al. (2018). How much of the world's food do smallholders produce? *Global Food Security*, 17, 64-72. DOI: 10.1016/j.gfs.2018.05.002.
- Renwick, L.L.R., Deen, W., Silva, L. et al. (2021). Long-term crop rotation diversification enhances maize drought resistance through soil organic matter. *Environmental Research Letters*, 16(8), 084067. DOI: 10.1088/1748-9326/ac1468.
- Shikuku, K.M., Mwangu, C.M. & Mwangera, C. (2019). Impact of drought-tolerant maize and maize-legume intercropping on the climate resilience of rural households in Northern Uganda. Chapter 15 in: Mapedza, E., Tsegai, D., Bruntrup, D. & Mcleman, R. (Eds.) *Drought Challenges. Current Directions in Water Scarcity Research*, 2, 221-234. DOI: 10.1016/B978-0-12-814820-4.00015-8.
- Stokstad, E. (2017). GM banana shows promise against deadly fungus strain. *Science News*, 17 November 2017. DOI: 10.1126/science.aar5267.
- Sturme, M.H.J., van der Berg, J.P., Bouwman, L.M.S. et al. (2022). Occurrence and Nature of Off-Target Modifications by CRISPR-Cas Genome Editing in Plants. *Agricultural Science and Technology*, 2, 192-201. DOI: 10.1021/acsagascitech.1c00270.
- Tabashnik, B.E., Fabrick, J.A. & Carrière, Y. (2023). Global Patterns of Insect Resistance to Transgenic Bt Crops: The First 25 Years. *Journal of Economic Entomology*, 116(2), 297-309. DOI: 10.1093/jeet/taoc183.
- Tang, G., Qin, J., Dolnikowski, G.G. et al. (2009). Golden Rice is an effective source of vitamin A. *American Journal of Clinical Nutrition*, 89(6), 1776-83. DOI: 10.3945/ajcn.2008.27119
- Trijatmiko, K.R., Duenas, C., Tsakirpaloglou, N. et al. (2016). Biofortified indica rice attains iron and

- zinc nutrition dietary targets in the field. *Scientific Reports*, 6, 19792. DOI: 10.1038/srep19792.
- Van den Berg, J., Prasanna, B.M., Midega, C.A.O. et al. (2021) Managing Fall Armyworm in Africa: Can Bt Maize Sustainably Improve Control? *Journal of Economic Entomology*, 114(5), 1934–1949. DOI: 10.1093/jee/toab161.
- van Bruggen, A.H.C., Finckh, M.R., He, M., et al. (2021). Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health Through its Effects on Microbial Communities. *Frontiers in Environmental Sciences, Section Toxicology, Pollution and the Environment*, 9, 763917. DOI: 10.3389/fenvs.2021.763917.
- Vanhove, W. (2015). Better safe than sorry. Handels- en investeringsonderhandelingen met de VS zetten het voorzorgsprincipe onder druk. *Oikos*, 72, 62-68.
- Vanhove, W. (2016). Agro-ecologische analyse van ggo's in mondiale landbouw- en voedselsystemen. *Oikos*, 76(1), 63-78.
- Wezel, A., Herren, B.G., Kerr, R.B. et al. (2020). Agro-ecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomic Sustainable Development*, 40, 40. DOI: 10.1007/s13593-020-00646-z.
- Yan, X.R., Wang, Z.Y., Feng, S.Q. et al. (2022). Impact of Temperature Change on the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* under Global Climate Change. *Insects*, 13, 981. DOI: 10.3390/insects13110981.
- Zhang, A., Liu, Y., Wang, F. et al. (2019). Enhanced rice salinity tolerance via CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the OsRR22 gene. *Molecular Breeding*, 39, 47 (2019). DOI: 10.1007/s11032-019-0954-y.

Noten

1. Aan het CIMMYT, of voluit Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, werden in de jaren '60 en '70 onder leiding van de Amerikaan Norman Borlaug hoge-opbrengstvariëteiten van tarwe en rijst ontwikkeld die aanleiding gaven tot de Groene Revolutie.
2. Bt staat voor *Bacillus thuringiensis*, een bacterie die natuurlijke, voor rupsen (die gewassen aanvreten) toxische proteïnes (Cry en Cyt) produceert. De genen daarvoor kunnen via nieuwe gentechnieken sneller en met hogere precisie dan voorheen in het DNA van een plant worden ingebracht, waardoor de plant zelf de rupsdodende toxines gaat produceren.
3. Omdat de bodem niet meer bewerkt hoeft te worden om tussen twee teelten onkruiden in te ploegen.
4. Coalition for Responsible Gene Editing in Agriculture: <https://geneediting.foodintegrity.org/>