

Hoe voorkomen we dat planten ziek worden?

Plantgezondheid

BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPELIJKE KWARTAALEN 2020



Plantgezondheid

Dit cahier is een uitgave van Stichting Biowetenschappen en Maatschappij (BWM) en verschijnt vier maal per jaar. Elk nummer is geheel gewijd aan een thema uit de levenswetenschappen, speciaal met het oog op de maatschappelijke gevolgen ervan.

Stichting BWM is ondergebracht bij ZonMw.

BESTUUR

Dr. J.J.E. van Everdingen
(voorzitter)
Prof. dr. J.W.F. Reumer
(penningmeester)
Dr. L.H.K. Defize
Prof. dr. E. van Donk
Dr. R.H.J. Erkens
Prof. dr. W.A. van Gool
Prof. dr. ir. F.P.M. Govers
Dr. R. Grootens-Wiegers
Prof. dr. B.C.J. Hamel
Prof. dr. C.L. Mummery
Dr. J.E. van Steenberg

RAAD VAN ADVIES

Prof. dr. J. van den Broek
Prof. dr. J. van Dissel
Prof. dr. J.P.M. Geraedts
Prof. dr. W.P.M. Hoekstra
Prof. dr. J.A. Knottnerus
Prof. dr. E. Schroten

REDACTIE

Prof. dr. ir. Francine Govers
Prof. dr. ir. Corné Pieterse
Dr. ir. Aad Termorshuizen
Ir. Astrid Smit

BUREAU

Joy Kerklaan
Monique Verheij

BEELDREDACTIE

B en U international picture service, Amsterdam

INFOGRAPHICS

Prof. dr. Jos van den Broek

VORMGEVING

Studio Bassa, Culemborg

DRUK

Drukkerij Tesink, Zutphen

INFORMATIE,

ABONNEMENTEN EN

BESTELLEN LOSSE NUMMERS

Informatie, abonnementen en bestellen losse nummers
Stichting
Biowetenschappen en
Maatschappij
Laan van Nieuw
Oost-Indië 334
2593 CE Den Haag
telefoon: 070-34 95 402
e-mail: info@
biomaatschappij.nl
www.biomaatschappij.nl

© Stichting BWM
ISBN/EAN 978-90-73196-98-8
Stichting BWM heeft zich ingespannen om alle rechthebbenden van de illustraties in deze uitgave te achterhalen. Mocht u desondanks menen rechten te kunnen laten gelden, dan verzoeken wij u vriendelijk om contact met ons op te nemen.



Inhoud

Inhoud 1

Voorwoord 3

Inleiding: Wat is plantgezondheid en waarom is het belangrijk? 5

1 Ook planten worden ziek

Planten: bron van onze energie 9

UITGELICHT Dubbele dreiging 12

Ziekteverwekkers en hun trukendozen 14

Plantenbelagers verhuizen vroeg of laat
mee 18

UITGELICHT De banaan is de pisang 20

Insecten als vriend en vijand 21

De jacht op plantenbelagers 22

Zo gaat de moderne plantendokter te werk 24

UITGELICHT Bijbelse plaag 26

De tol van ziekten en plagen in de landbouw 27

UITGELICHT Hongersnood en volksverhuizing 30

Beter bewaren 31

Vermindert plantendiversiteit de kans op ziektes? 33

2 Voorkómen is beter

Gewassen wapenen met een weerbare
omgeving 35

UITGELICHT Echt of vals? 38

Belagers blokkeren met resistentiegenen 39

Zaad met een jasje 43

UITGELICHT Plantenziekten: soms mooi
en nuttig 44

Apps met boerenverstand 45

Gezond gras 47

3 Wat als de ziekte toeslaat?

Gewassen beschermen met chemie 49

Biologische bestrijding:

benut wat de natuur biedt 52

UITGELICHT Manisch of moe: wat scheelt
de biet? 54

Een 'vaccin' voor de iep 57

4 Toezicht op de plantgezondheid

Hoe is de plantgezondheid wereldwijd
georganiseerd? 59

De neveneffecten van globalisering 63

Plantenbelagers in quarantaine 64

UITGELICHT De koninklijke heg-weg 66

Ieder gewasbeschermingsmiddel is verboden
tenzij het is toegelaten 67

UITGELICHT Een verraderlijk souvenirkje 70

Plantgezondheid is geen spelletje!

Of toch wel? 71

Ook planten moeten een geldig paspoort hebben 73

5 **Blik op de toekomst**

Doelgericht sleutelen aan de genen van
de plant 75

KADER Genetisch gemodificeerde gewassen
in de EU 78

Schimmels en bacteriën helpen plant
bij afweer 79

Precisielandbouw 82

UITGELICHT Vampierplanten 84

En de boer ploegt voort 86

Stadslandbouw en plantenziekten 89

Epiloog: Dansen met de natuur 90

Auteurs en redactie 92

Meer informatie 94

Illustratieverantwoording 96

Voorwoord

HET JAAR 2020 is door Wereldvoedselorganisatie FAO uitgeroepen tot het Internationaal Jaar van de Plantgezondheid. Maar je hebt geen glazen bol nodig om te voorspellen dat 2020 vooral het jaar van het coronavirus zal worden. Het coronavirus heeft het leven wereldwijd ontregeld, en de gevolgen gaan veel verder dan alleen de gezondheid. Ook de economie, de logistiek en de voedselproductie worden er ernstig door geraakt. Zo konden Nederlandse telers van frietaardappelen of groentekiem en sommige vissers van de ene op de andere dag hun mooie producten niet meer kwijt. Toen de horeca de deuren sloot, was hun afzetmarkt in één keer verdwenen.

Dit cahier gaat over plantgezondheid. Anders dan het coronavirus kan een plantenziekte niet overgaan op de mens. Toch zijn er grote parallellen tussen het coronavirus en plantenziekten. Omdat ook plantenziekten enorme gevolgen kunnen hebben, op de landbouw en de natuur, maar ook op de wereldwijde handel.

Een schoolboekvoorbeeld van een plantenziekte is de aardappelziekte fytoftora. Halverwege de negentiende eeuw mislukte bijna de hele Ierse aardappeloogst door deze ziekte. Een grote hongersnood was het gevolg en veel Ieren emigreerden naar Noord-Amerika. De aardappelziekte wordt nog steeds gevreesd, al zijn er tegenwoordig methoden om haar te bestrijden en staat het onderzoek niet stil. Een ander, heel recent voorbeeld van een plantenziekte is te vinden bij olijfbomen. Onder andere in het zuiden van Italië

heeft een bacterie inmiddels miljoenen olijfbomen besmet. Bomen van soms duizend jaar oud, die de pest, oorlogen en bosbranden overleefden, worden nu aangetast door een bacterie uit Amerika, die waarschijnlijk via Costa Rica en Rotterdam in Zuid-Italië belandde. De vrees is dat de bacterie ook andere bomen en struiken zal besmetten, zoals de druif, amandel, rozemarijn en perzik. Voor de ziekte bestaat nog geen remedie.

In de wereld van de eenentwintigste eeuw is alles met alles verbonden, en reiken de gevolgen van een plantenziekte verder dan ooit. Ook dat is een les die we kunnen trekken uit het coronavirus. Een virus, schimmel of plaag kan zich door onze manier van leven veel sneller verspreiden dan vroeger. En als er in andere werelddelen oogsten mislukken, merken we dat hier op ons bord. Wereldwijd kan daardoor de voedselzekerheid onder druk komen te staan, zeker doordat de wereldbevolking nog steeds toeneemt. Daarbij zorgt de klimaatverandering voor extra risico's op plantenziekten. Als je het zo bekijkt, is het zeer terecht dat plantgezondheid dit jaar extra wereldwijde aandacht krijgt. En dus verschijnt dit cahier ook op het juiste tijdstip.

Het onderwerp plantgezondheid is niet alleen maar een verhaal van bedreiging, kommer en kwel, maar ook van hoop, innovatie en gezamenlijk de schouders eronder. Overal ter wereld werken wetenschappers, boeren en overheden aan de gezondheid van planten. Ook op het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit krijgt plantgezondheid veel aandacht. In 2018 bracht minister Schouten haar visie uit op de ontwikke-



ling van de landbouw. Deze is niet alleen gericht op een goede opbrengst en een zuinig gebruik van grondstoffen en energie, maar ook op zo min mogelijk belasten van klimaat, milieu en natuur. De toekomst van de landbouw en de voedselproductie zal meer gebaseerd moeten worden op circulaire processen en de ontwikkeling van preciselandbouw.

Plantgezondheid speelt een bijzondere rol in deze visie. Bij het voorkomen en bestrijden van plantenziekten verschuift de focus van gewasbescherming naar weerbaarheid van planten en teeltsystemen. Het ontwikkelen van wetenschappelijke kennis, methoden en technieken is daarbij van groot belang. Hoe kunnen we met de vernieuwing van productiemethoden de risico's voor plantgezondheid verkleinen? Kunnen we via veredeling van gewassen de risico's van ziekten en plagen verminderen? Dat is niet alleen goed voor ons voedsel en onze gezondheid, maar het geeft ook een impuls aan de agro-innovatie in Nederland, wat goed is voor onze positie op de wereldmarkt. In Nederland werken wetenschappelijk en prak-

tijkgericht onderzoek al hecht samen, waardoor bedrijven innovaties snel kunnen toepassen, in binnen- en buitenland.

De omslag naar circulaire landbouw zal veel innovaties vragen. Nederland kan en moet een prominente rol spelen in de vernieuwing van productiemethoden, zowel in eigen land als op wereldwijde voedselmarkten. Met onze kennis en producten kunnen we voor andere landen een voorbeeld zijn in het efficiënt produceren van voedsel in kringlopen, zodat schade aan het ecosysteem van water, bodem en lucht voorkomen en hersteld wordt.

Ik hoop dat dit cahier u inspireert, doordat het laat zien hoeveel slimme en toegewijde mensen werken aan de plantgezondheid, in het belang van de natuur, van onszelf en van de mensen die na ons deze prachtige aarde bewonen.

Marjolijn Sonnema

Directeur-generaal Agro bij het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Inleiding

Wat is plantgezondheid en waarom is het belangrijk?

PLANTEN, ZE zijn overal. Veruit het meeste land op aarde is bedekt met een groene laag van bossen, oerwouden of graslanden, en ook de oceanen zitten vol met primitieve planten, algen. Zonder planten kunnen wij niet leven; zonder planten zou er nauwelijks zuurstof zijn en geen voedsel. Het bladgroen dat planten hun groene kleur geeft, is de krachtige motor. Aangedreven door zonlicht maakt dat zuurstof uit water en suikers uit kooldioxide (CO₂). Dit unieke proces heet fotosynthese. De plant zet de suikers om in eiwitten, vetten en zetmeel en slaat die op in vruchten, granen, peulen en knollen, die dieren en mensen vaak weer opeten. Planten staan dus aan de basis van de voedselpiramide.

Zonder planten zou het hele ecosysteem instorten. De aarde zou één grote woestijn zijn, compleet met zandstormen. Een goede bodem, die naast zand- en kleideeltjes ook verteerde plantenresten bevat, kan water vasthouden en zal niet zomaar

verwaaien. Planten zorgen ook voor schaduw, absorberen geluid en verhogen de luchtvochtigheid in hun omgeving. Planten in huis en op de werkvloer maken mensen gezonder.

Het moge duidelijk zijn dat zonder planten onze gezondheid en onze leefomgeving in gevaar zijn. Maar net als mensen kunnen ook planten ziek worden, soms met grote gevolgen. Denk aan de Ierse hongersnood in 1845, toen de aardappelplanten op het veld wegwijnden en de zieke aardappelen lagen te rotten in de opslagkelders. De ziekte waar de aardappel aan leed was plotseling opgedoken in Europa. Het was een besmettelijke ziekte, veroorzaakt door een micro-organisme, waar geen remedie voor was. Miljoenen Ieren werden ziek van de honger. Velen overleden of vluchtten naar het buitenland.

Ziektes in planten kunnen ook een aanslag zijn op de biodiversiteit. Zo wordt bijvoorbeeld het voortbestaan van de majestueuze kauri-bomen bedreigd door een besmettelijke ziekte. Kauri's, uniek voor Nieuw-Zeeland en tot wel 2000 jaar oud, behoren tot het culturele erfgoed van de Maori's, de oorspronkelijke bewoners van dit land. Met de stervende bomen verliezen zij een deel van hun identiteit.

Dit cahier gaat over plantgezondheid. De centrale vraag is: hoe voorkomen we dat planten ziek worden? Ofwel: hoe houden we ze gezond, en dan met name de gewassen. Gezonde gewassen zijn van wezenlijk belang voor onze voedselvoorziening en daarmee voor onze volksgezondheid.

Ze zitten immers boordevol waardevolle voedingsstoffen. Het valt niet mee om planten



INTERNATIONAAL JAAR VAN
PLANTGEZONDHEID

2020



gezond te houden. Plantenbelagers als virussen, bacteriën, schimmels, oömyceten (waterschimmels) en insecten liggen overal op de loer en reizen dikwijls met verhandelde planten mee. Momenteel bedraagt de opbrengstderiving van gewassen als gevolg van plantenziekten en -plagen wereldwijd maar liefst 30 procent; problemen met bewaring van geoogste producten zijn daarbij inbegrepen. Ook bomen en siergewassen worden regelmatig ziek. Denk aan de iepziekte en de essentaksterfte, of aan lelies en rozen die worden aangetast door plantenbelagers.

2020 is het Internationaal Jaar van de Plantgezondheid, uitgeroepen door de Algemene Vergadering van de Verenigde Naties. Het doel is om het belang van gezonde planten onder de aandacht te brengen. Gezonde planten helpen honger uit te bannen, armoede te bestrijden, het milieu te beschermen en economische ontwikkeling te stimuleren.

De beschikbaarheid van voldoende en betaalbaar voedsel is een voorwaarde voor armoedebestrijding en maatschappelijke stabiliteit. In de 19de eeuw leidde de Ierse hongersnood tot sociale en culturele ontwrichting. Veel Ieren verhuisden naar Amerika waar ze een belangrijke stempel drukten op de ontwikkeling van de VS. Het was een keerpunt in de geschiedenis, veroorzaakt door slechts één micro-organisme. Kan zoiets nu weer gebeuren? Zeker! Ook nu nog zijn er wereldwijd zo'n 820 miljoen mensen die een tekort aan voedsel hebben en honger lijden. De oorzaak is vaak complex: foute politiek, slechte economie en slecht of geen onderwijs en een onderontwikkelde landbouw. Slechte kwaliteit zaaizaad, gebrek aan meststoffen, droogte; wat de oorzaak ook is, plantgezondheid is altijd in het geding. En als gewassen slecht groeien zijn ze ook nog eens extra vatbaar voor ziekten en plagen.


De overheid
wil binnen
tien jaar
afscheid
nemen van
de chemische
gewasbe-
schermings-
middelen.
Maar gaat
dat lukken?

Hier in Nederland hebben wij geen honger te vrezen. Onze land- en tuinbouw staat op een hoog peil. Na de VS is ons kleine landje de tweede voedselexporteur ter wereld. We hebben 40 procent van de wereldwijde handel in groentezaden in handen, en wel 60 procent van die in pootaardappelen. We doen er alles aan om ziekten en plagen te voorkomen.

Zijn er bij ons dan geen problemen? Toch wel. Zo staat het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen sterk onder druk. Ze hebben ongewenste neveneffecten, zoals insectensterfte. De overheid wil binnen tien jaar afscheid nemen van de chemische gewasbeschermingsmiddelen. Maar gaat dat lukken? Kunnen we bij de teelt van onze gewassen altijd zonder deze middelen? Wetenschappers en bedrijven doen in ieder geval enorm hun best om het streven van de overheid voor elkaar te krijgen. Ze zijn voortdurend op zoek naar innovatieve methoden om de plantgezondheid te verbeteren. Ze introduceren efficiënt en gericht resistentiegenen in gewassen en ze ontwikkelen preventie- en bestrijdingsstrategieën op basis van biologische principes. 'Leren van de natuur' is het motto. Strokteelt of mengteelt kan net zo productief zijn als een monocultuur, terwijl de ziektedruk lager is. Micro-organismen in de bodem zijn uitstekend inzetbaar om de plant te wapenen tegen belagers. We zijn benieuwd waar we over tien jaar staan.

Alleen al in Nederland werken duizenden mensen in de plantgezondheid: in het onderzoek en onderwijs, als voorlichter, inspecteur of beleidsmedewerker, bij keuringsdiensten en veredelingsbedrijven, en in de agrochemische en biotechnologische sector. In dit cahier kunt u lezen waar ze dagelijks mee bezig zijn en waarom. Een kijkje achter de schermen van de plantgezondheid, waardoor u misschien anders naar de goedgevulde schappen bij de groenteboer kijkt of naar de (mis)oogsten in uw eigen groentetuin.

*Prof. dr. ir. Francine Govers, dr. ir. Aad Termorshuizen
en prof. dr. ir. Corné Pieterse.*

A close-up photograph of wheat plants. Several wheat heads are visible, showing their characteristic spikelet structure. In the foreground, a single leaf is prominently displayed, heavily infested with bright orange-brown rust pustules. The background is a soft-focus field of green wheat plants under natural light.

Als je ziet hoeveel ziekteverwekkers er zijn, is het bijna een wonder dat de meeste planten gezond blijven. Toch blijkt het een wankel evenwicht.

1 Ook planten worden ziek

We zijn veel met onze eigen gezondheid bezig, zeker als we geïnfecteerd raken met een virus of anderszins door een ziekte worden overvallen. Maar ook de gezondheid van planten moeten we goed bewaken, want akkergewassen, bomen en sierplanten worden continu belaagd door ziekteverwekkers en insecten. Soms zijn die belagers er jarenlang niet, om dan opeens weer toe te slaan. Waar komen ze vandaan, wat is hun impact en hoe worden ze geïdentificeerd door de plantendokters van nu?

Planten: bron van onze energie

■ DR. CHARLOTTE GOMMERS

NET ALS wij gebruiken planten bouwstoffen en brandstoffen om te kunnen groeien en te reageren op de omgeving. Wij halen de energie uit suikers van planten. Planten maken hun eigen suikers. Daardoor staan ze aan de voet van bijna al het leven op aarde.

Planten maken suikers met behulp van fotosynthese: een reactie waarbij lichtenergie wordt omgezet in chemische energie. Deze reactie vindt plaats in de bladgroenkorrels, ook wel chloroplasten genoemd. Dit zijn gespecialiseerde onderdelen in de cellen, meestal in bladeren, van planten. Het bladgroen in de korrels, het chlorofyl, kan heel

efficiënt het energierijke blauwe en rode licht opvangen en groen licht weerkaatsen. Dat verklaart waarom planten er voor ons groen uitzien. De chlorofylmoleculen doen het eigenlijke werk. Ze nemen fotonen op, energierijke deeltjes uit het licht, en maken met behulp van water de energierijke verbindingen ATP en NADPH aan (voluit adenosinetrifosfaat en nicotinamide-adenine-dinucleotidefosfaat). Daarbij komt zuurstof vrij als restproduct. Zuurstof is verder niet nodig bij de fotosynthese en verlaat de plant, klaar om door ons ingeademd te worden.

De energierijke verbindingen, ATP en NADPH, worden ingezet tijdens de volgende stap van de fotosynthese, de zogenaamde donkerreactie. Op basis van deze naam lijkt het alsof deze reactie alleen in het donker plaatsvindt, maar het betekent alleen dat vanaf nu geen lichtenergie meer wordt

Vaak hebben plantensoorten dan ook vernuftige strategieën ontwikkeld om toch optimaal te blijven groeien

gebruikt. Tijdens de donkerreactie zet de plant koolstofdioxide (CO₂) om in glucose, met behulp van ATP, NADPH en nog meer water.

Glucose en andere suikers worden door de hele plant verspreid en opgeslagen, om later als energiebron te dienen. Suikers zijn ook een voedingsbron voor dieren en daar maken planten soms goed gebruik van. Doordat ze veel suikers opslaan in hun vruchten, worden hun zaden opgegeten door hongerige dieren en vervolgens verspreid. Soms slaan planten hun energie voor langere tijd op, bijvoorbeeld om mee te geven aan zaden. In dat geval wordt suiker omgezet in zetmeel. Dat is de reden dat bonen en granen zoveel zetmeel bevatten. Zetmeel kan ook worden opgeslagen in gespecialiseerde plantenstructuren, zoals aardappelen of wortelen, om een energievoorraadje aan te leggen en na de winter snel te kunnen groeien. Mensen maken ook hier goed gebruik van: veel van onze gewassen zijn gekozen en doorgekruist om zoveel mogelijk suikers en zetmeel te leveren.

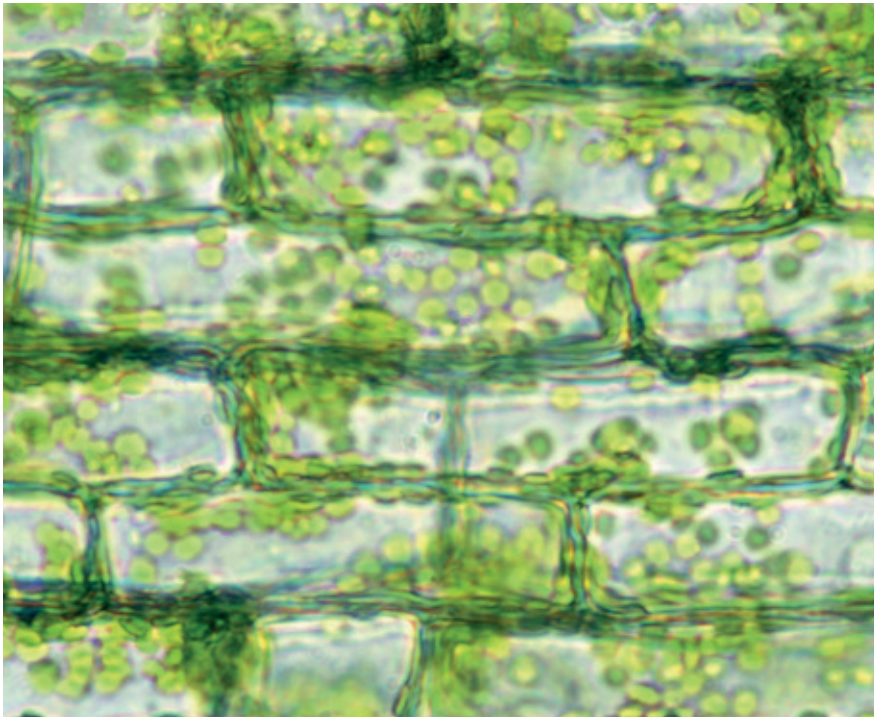
Wanneer de plant zelf energie nodig heeft om te groeien, wordt glucose afgebroken, waarbij dan weer ATP vrijkomt. Dat ATP levert de energie voor celdelingen en andere chemische reacties. Dit proces heet respiratie (ademhaling) en verbrandt glucose en zuurstof. Daarbij komen naast ATP ook CO₂ en water vrij. Respiratie vindt plaats in de mitochondriën: gespecialiseerde onderdelen van de cel, die in dierlijke cellen dezelfde functie vervullen.

Voor een plant is het van levensbelang dat de fotosynthesereactie blijft werken. Daarvoor heeft hij in elk geval voldoende licht, water, CO₂, zuurstof en voedingsstoffen nodig. Omdat een plant weinig bewegingsvrijheid heeft, is het soms een enorme uitdaging om deze grondstoffen op peil te houden. Vaak hebben plantensoorten dan ook vernuftige strategieën ontwikkeld om toch optimaal te blijven groeien.

Lichtreceptoren

Om bladeren voldoende licht te laten opvangen, verzamelt een plant informatie over zijn omgeving. Daarvoor heeft hij gespecialiseerde lichtreceptoren die verschillende kleuren waarnemen. Veel rood en blauw licht is goed nieuws: het blad heeft de ideale positie voor fotosynthese. Veel verrood licht waarschuwt de plant ervoor dat andere planten dichtbij komen en hem dreigen te overschaduwen. In dat geval geven de lichtreceptoren een seintje dat ervoor zorgt dat de plant harder gaat groeien om boven zijn burens uit te komen. Andere lichtreceptoren zorgen ervoor dat een plant zich gaat buigen als het licht slechts uit één richting komt, zoals je dat ziet bij kamerplanten die voor het raam staan. Te veel licht is echter ook niet goed, want dan kunnen de fotosystemen de energie niet verwerken en raakt de plant gestrest. Een veelvoorkomende reactie daarop is de aanmaak van rode pigmenten, zodat het chlorofyl wordt beschermd.

Planten hebben een uitermate vernuftig wortelstelsel. De wortels nemen water met opgeloste voedingsstoffen op uit de bodem. Het water stroomt naar binnen door een aantal gespecialiseerde cellagen, die zoveel mogelijk schadelijke stoffen eruit filteren. Uiteindelijk bereikt het de houtvaten (het xyleem) in de wortel. Dat zijn langgerekte cellen waarvan alleen de buitenwand over is. Ze vormen daardoor een soort rietje, dat door de hele plant getrokken is. Samen met de bastvaten (het floëem) vormen ze de vaatbundels in de plant. Floëem zorgt ervoor dat suikers vanuit de bladeren door de rest van de plant verspreid worden. Zo krijgen delen die geen fotosynthesereactie uitvoeren, zoals wortels, of die veel suikers opslaan, zoals vruchten, voldoende suikers aangevoerd. Vaatbundels lopen door de hele plant en brengen water naar de plaats waar het nodig is: de bladeren. Ze zijn de motor achter het watertransport. De bladeren verdampen water door hun huidmondjes open te zetten. Elk huidmondje wordt gevormd door twee cellen in



Bladgroenkorrels in de bladeren zetten lichtenergie om in chemische energie.

het bladoppervlak, die door krimpen en zwellen een klein gaatje open en dicht laten gaan. De verdamping zorgt voor een onderdruk in het xyleem, met als gevolg dat de wortels water naar binnen zuigen.

Ruwe bouwstoffen uit de bodem

Via de huidmondjes vindt gasuitwisseling plaats. Planten met een actieve fotosynthese nemen vooral CO_2 op vanuit de omgeving en stoten zuurstof uit. Als een plant daarentegen zelf hard aan het groeien is, zal bijna alle zuurstof direct worden gebruikt voor de verbranding van suikers. In warme, droge klimaten houden planten hun huidmondjes overdag het liefst dicht om te voorkomen dat er te veel water verdamppt. Dat kan voor problemen zorgen, want de fotosynthese heeft licht en CO_2 tegelijkertijd nodig. Er zijn planten die goed aangepast zijn aan droge klimaten en

daar een oplossing voor hebben. Zij slaan 's nachts, wanneer de huidmondjes openstaan, CO_2 op als appelzuur of een soortgelijke verbinding. Overdag wordt het appelzuur weer afgebroken, waardoor CO_2 vrijkomt voor de fotosynthese.

Planten zijn voor groei en onderhoud afhankelijk van ruwe bouwstoffen uit de bodem. Micronutriënten als ijzer, zink en koper hebben ze nodig in kleine hoeveelheden, macronutriënten als stikstof, fosfor en calcium in grote hoeveelheden. Ze bouwen er eiwitten, DNA en celstructuren mee. De optimale hoeveelheid nutriënten verschilt per plantensoort. Bij een tekort aan nutriënten zullen planten gestrest raken. Ze breken dan bijvoorbeeld het chlorofyl in oudere bladeren af, om de vrijgekomen nutriënten te hergebruiken in jongere bladeren. Dan komt een plant er vergeeld uit te zien.

De wortels zijn continu op zoek naar nutriënten in de bodem. Als één plek in de bodem meer fosfor of stikstof bevat dan een andere, dan kunnen de wortels dit waarnemen. Er zullen daar dan meer zijwortels gaan groeien. Al met al kunnen planten prima voor zichzelf zorgen. Alles wat ze nodig hebben, vinden ze om zich heen. En als één van de grondstoffen voor het plantenleven schaars dreigt te worden, zijn planten flexibel genoeg om zich aan te passen.

Dubbele dreiging

■ IR. DORIET WILLEMEN



Dit patroon op de bast van de es is niet het werk van een kunstenaar maar van de essenprachtkever *Agrilus planipennis*.

Bomenrijen met kale takken en hier en daar een verdord blad: het is een mistroostige aanblik in het landschap. Net als elders in Europa worden ook in Nederland de bossen niet gespaard. Tien jaar geleden werd essentaksterfte voor de eerste keer officieel vastgesteld in Nederland (Groningen, 2010) en ondertussen heeft ze overal toege-

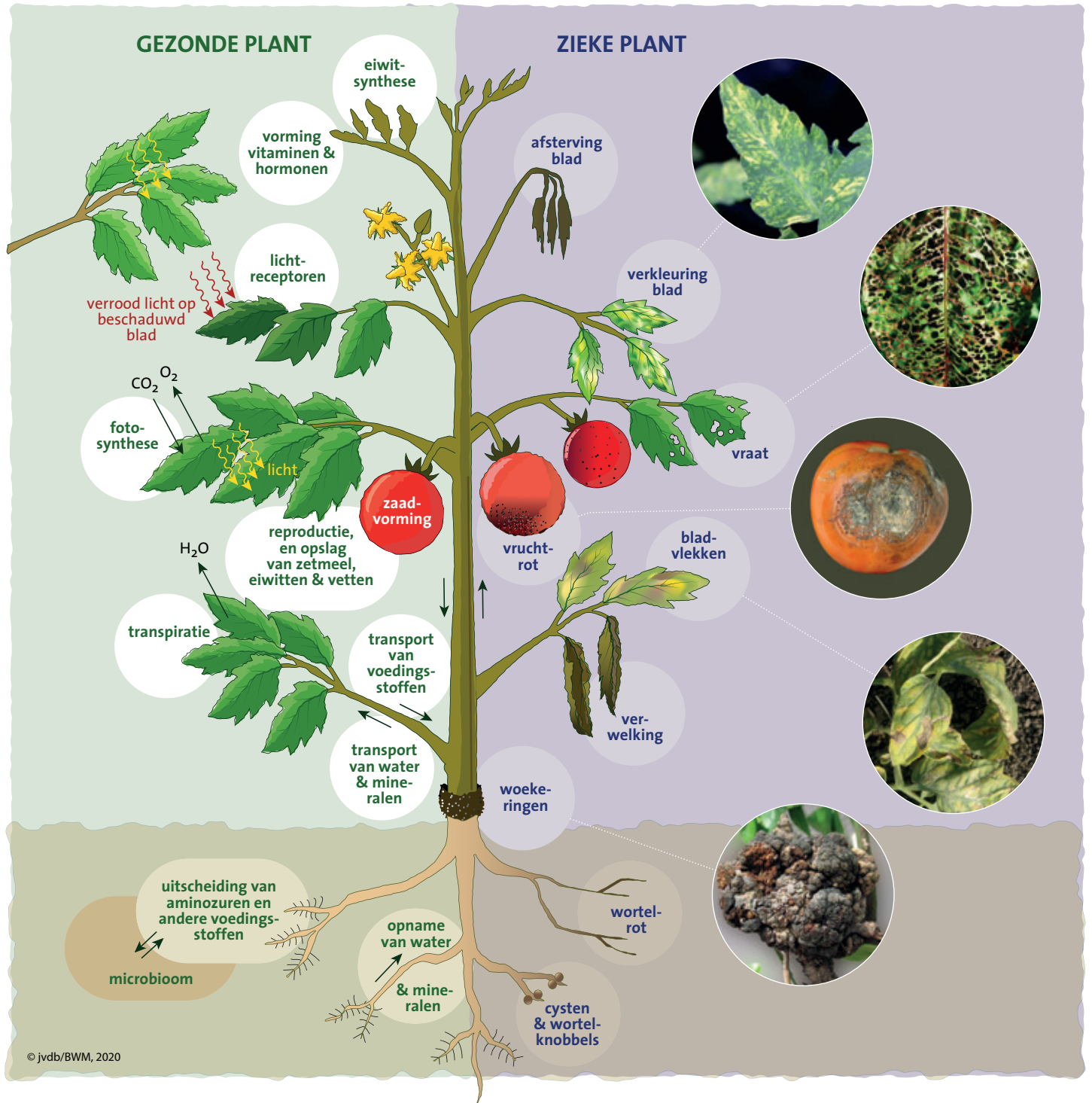
slagen. Niet alleen zien de (half)dode bomen er troosteloos uit, ook vormen vallende takken een gevaar voor wandelaars en verkeer. Daarom, maar meer nog om verdere verspreiding af te remmen, worden aangetaste essen massaal gekapt. De aanstichter van het kwaad is de schimmel vals essenvlieskelkje,

Hymenoscyphus fraxineus, die groeit in de houtvaten van de es. Die raken verstopt, waardoor takken verdrogen en afsterven. Een behandeling is er niet. Niet alle essen zijn even vatbaar. Onderzoekers zijn bezig met een grote inventarisatie en maken een selectie van soorten en cultivars die beter bestand zijn tegen de ziekte. Burgers helpen hen daarbij in het *citizen science*-project 'Essentaksterfte.nu'. De schimmelsporen, die in vruchtlichaampjes vooral op de bladstelen gevormd worden, kunnen zich via wind naar andere bomen verspreiden. Verplaatsing over grotere afstanden is mogelijk door de handel in (onopgemerkte) besmette bomen. Het internationale handelsverkeer maakt de kans op het importeren van een plantenbelager aanzienlijk. Douanecontroles, fytosanitaire verklaringen en verplichte plantenpaspoorten moeten dat tegengaan. Maar ook houten producten en pallets vormen een risico, omdat er schadelijke insecten (bijvoorbeeld eitjes, larven of poppen van diverse boktorren) in mee kunnen liften.

Voor de essen in Europa dreigt nu ook nog de komst van de Aziatische essenprachtkever *Agrilus planipennis*. Deze metaalgroene kever, die in de bossen van Amerika en Canada grondig heeft huisgehouden, is al gespot in Oekraïne. Het is niet zozeer de vraag óf de kever komt, dan wel wanneer. Opletten dus, want anders leggen de bomen die nu de essentaksterfte weten te overleven, straks alsnog het loodje door die kever.

GEZONDE PLANT

ZIEKE PLANT



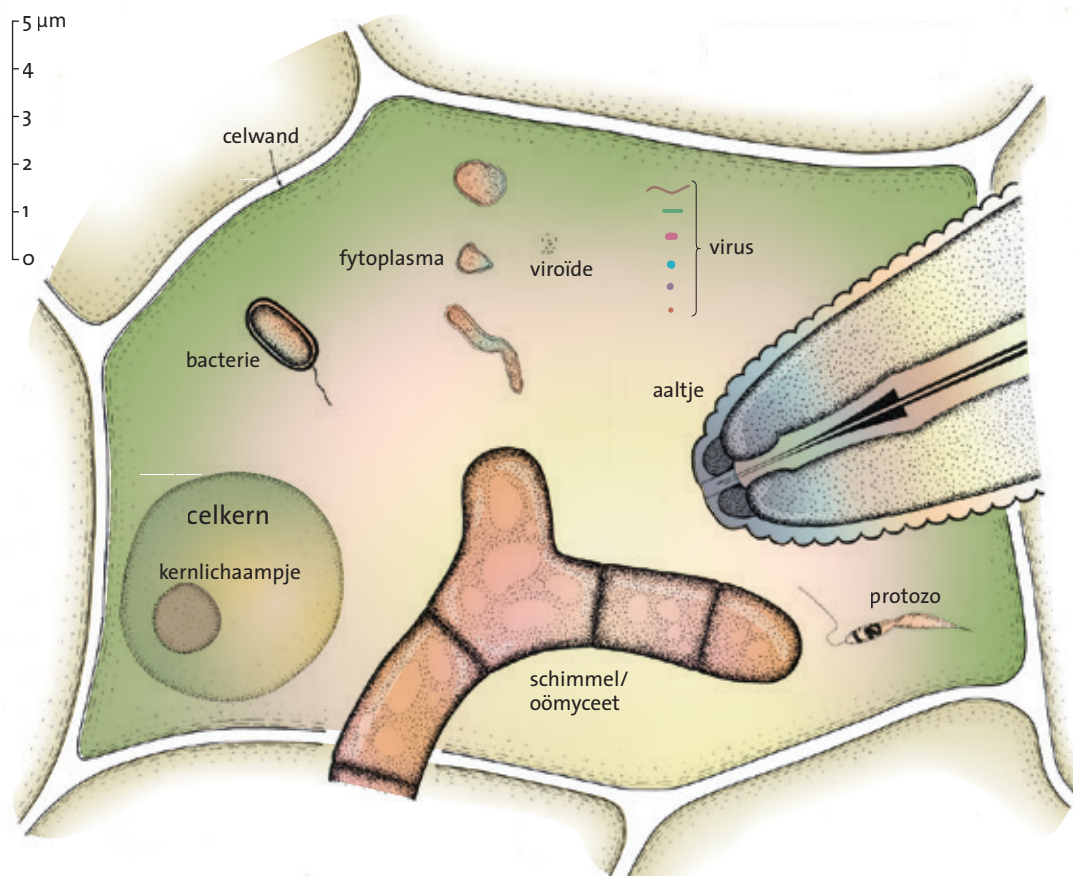
Ziekteverwekkers en hun trukendozen

■ PROF. DR. IR. FRANCINE GOVERS, DR. IR. AAD TERMORSHUIZEN, PROF. DR. IR. CORNÉ PIETERSE

DE MEESTE planten en bomen in onze omgeving groeien en bloeien en zien er gezond uit. Maar net als mensen worden ze zo nu en dan geveld door ziektes. De meeste daarvan worden veroorzaakt

door micro-organismen zoals virussen, bacteriën en schimmels. Ook aaltjes en parasitaire planten hebben een aandeel. Welke eigenschappen hebben die organismen en hoe brengen ze de gezondheid van planten in gevaar?

Plantencel met zijn potentiële indringers.





Bladluis prikt blad aan met stilet. Daarbij kan hij de plant infecteren met virussen.

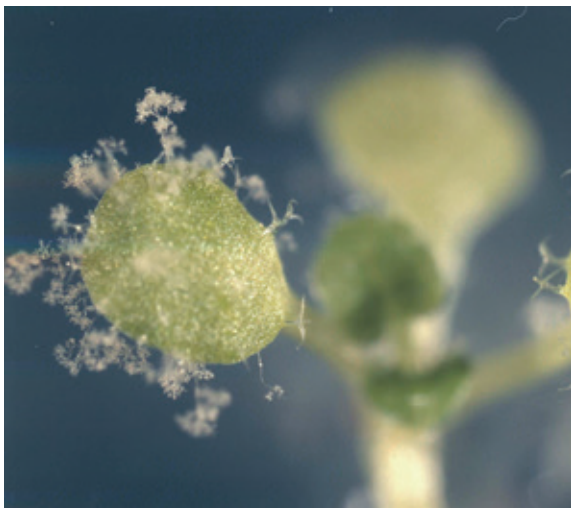
VIRUSSEN zijn staafvormige of bolvormige organismen. Ze bestaan uit niet meer dan DNA of RNA met daaromheen een mantel van eiwitten. Ze dringen een levende cel binnen en zijn voor overleving en voortplanting volledig afhankelijk van hun gastheer zoals de plant. Ze verstoren basale cellulaire processen, waardoor bladeren gaan verkleuren of opkrullen en de groei of bloei wordt geremd. Er zijn rond de 1.800 virussen beschreven die uitsluitend planten infecteren. Dat is zo'n 30 procent van de virussen die beschreven zijn, maar slechts een fractie van het werkelijke aantal virussen. Insecten, veelal bladluizen, dragen de virussen over van plant naar plant wanneer ze die met hun stilet aanprikken om voedsel op te zuigen. Is de plant geïnfecteerd, dan gaat het virus mee met de luis en komt terecht in de volgende plant waar die zich op voedt. Overdracht kan ook plaatsvinden via stekken, zaad of plantensap dat vrijkomt bij verwonding, bijvoorbeeld bij snoeien of vraat.

BACTERIËN zijn ééncellige organismen in de vorm van een bol, staaf of spiraal. Ze hebben aan de buitenkant een slijm laag en zijn vaak voorzien van één of meerdere zweefpharen, flagellen geheten,

die helpen bij de voortbeweging. In tegenstelling tot virussen hebben bacteriën geen gastheercel nodig om zich te vermenigvuldigen. Ze groeien snel, vermenigvuldigen zich door deling en vormen kolonies waarin ze hun krachten bundelen en taken verdelen. Er zijn zo'n 10.000 soorten bacteriën beschreven, maar ook dit is slechts een fractie van het werkelijke aantal. Van zo'n tachtig soorten is bekend dat ze planten kunnen infecteren. Sommige, de necrotrofen, leven van dood(gemaakt) plantenmateriaal. Ze maken bijvoorbeeld het plantenweefsel dood door celwanden af te breken en benutten dan de celinhoud als voedsel. Andere, de biotrofen, voeden zich met levende planten. Ze injecteren met een soort naald zogeheten effectoren in plantencellen, stofjes waarmee ze de afweer in de plant onderdrukken, en nemen dan de controle in de cel over. Zo maken ze de weg vrij voor ongehinderde groei ten koste van de plant. Weer andere bacteriën leveren bijvoorbeeld een stukje DNA af in de plantencel en zorgen dat het geïntegreerd wordt in het erfelijk materiaal van de plant. Die gaat daardoor extra hormonen aanmaken, waardoor ongecontroleerde celdeling plaatsvindt. Er vormt zich een tumor waarvan de bacterie profiteert.



Staaformige bacterie met lange zweefpharen die helpen bij de voortbeweging.

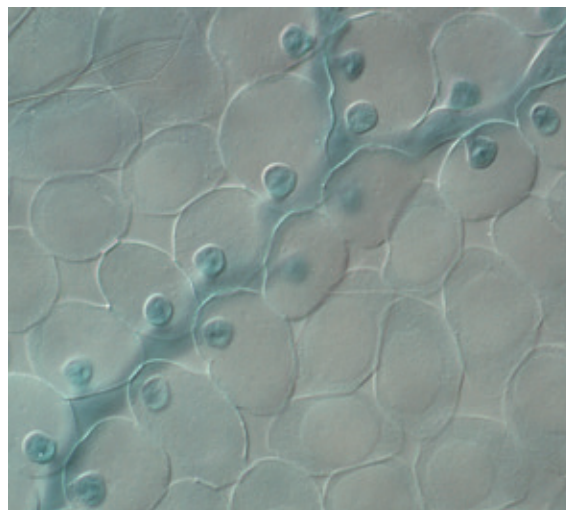


Valse meeldauw (oömyceet) op de blaadjes van een kiwiplant.

SCHIMMELS en **OÖMYCETEN** zijn organismen die qua uiterlijk sterk op elkaar lijken. Ze maken schimmeldraden (hyfen) die zich vertakken en een netwerk vormen, ook wel mycelium genoemd. Op de hyfen ontstaan sporen die verspreid worden door wind of water en weer kunnen uitgroeien tot een nieuw mycelium. Schimmels en oömyceten zijn niet aan elkaar verwant, maar bezetten wel dezelfde ecologische niche: ze zijn gedurende de evolutie op dezelfde levenswijze en vorm uitgekomen. Schimmels staan in de evolutionaire stamboom dicht bij de dieren. Oömyceten, ook wel waterschimmels genoemd, zitten samen met bruinwieren en kiezeldiertjes in een heel andere tak, ver weg van de schimmels en de dieren. De bekendste schimmels zijn de zichtbare paddenstoelen, maar de meeste van de naar schatting vier miljoen soorten zijn zo klein dat ze niet of nauwelijks zichtbaar zijn. Veel schimmels zijn nuttige opruimers in de natuur: het zijn saprofyten, hetgeen betekent dat ze organisch materiaal afbreken. Andere leven in symbiose met planten, de mycorrhiza's, of in symbiose met algen, de zogenoemde korstmossen.

De oömyceten staan vooral bekend als ziekteverwekkers. Er zijn zo'n tweeduizend soorten beschreven, maar hun werkelijke aantal wordt geschat op meer dan het tienvoudige. Slechts een klein deel van de vele soorten schimmels en oömyceten zijn plantenbelagers, naar schatting zo'n achtduizend. Ze worden steeds vaker samengevat onder de noemer draadvormige plantenpathogenen. Hun strategie om planten ziek te maken is vergelijkbaar met die van bacteriën, met celwandafbrekende enzymen die het plantenweefsel doden dan wel met effectoren die de gastheer manipuleren en de afweer tegen infectie onderdrukken. In plaats van een injectienaald, zoals sommige bacteriën hebben, gebruiken de draadvormige plantenpathogenen voedingslichaampjes om effectoren af te leveren. Dat zijn bolvormige of vingervormige uitsteeksels van hyfen die de plantencel binnendringen om zo het contactoppervlak tussen pathogeen en plant te vergroten en de uitwisseling van effectoren en voedingsstoffen te vergemakkelijken. De gifstoffen van schimmels, mycotoxinen genaamd, zijn ook geduchte wapens om hun gastheren te verzwakken. Mycotoxinen kunnen ook giftig zijn voor de mens.

Draadvormige plantenpathogenen, zoals deze valse meeldauw, gebruiken voedingslichaampjes om stoffen in te brengen of op te halen bij de plant.





Een aaltje kan met deze naald een wortel van de aardappelplant aanprikken en daarin speeksel lozen met stofjes die de afweer van de plant onderdrukken.

AALTJES zijn minuscule wormpjes die in zeer groten getale in de bodem voorkomen en enorm divers zijn. Een handvol grond bevat al gauw duizend exemplaren. Van de 27.000 beschreven aaltjessoorten voeden de meeste zich met bacteriën en andere micro-organismen. Ruim vierduizend soorten hebben planten als voedselbron, maar hiervan zijn er slechts 20 tot 25 schadelijk in land- en tuinbouw. Ze prikken wortels aan met een soort naald en lozen speeksel in de plantencel. Daarin zitten effectoren, die zoals gezegd de afweer onderdrukken. De aaltjes nemen de regie over en regelen dat de plant zogenaamde voedingscellen gaat maken, en voedsel en bouwstoffen aanlevert voor hun verdere ontwikkeling. Op de wortels verschijnen knobbels of cysten gevuld met eitjes, die na overwintering uitkomen en opnieuw planten gaan infecteren.

PARASITAIRE PLANTEN leven als parasieten op andere planten. Ze behoren tot een – ook weer – grote, zeer diverse groep. In totaal gaat het om zo'n 4800 soorten, wijdverbreid over het plantenrijk, die onafhankelijk van elkaar de parasitaire levensstijl hebben ontdekt. Ze hebben gemeen dat ze

allemaal na zaadkieming hechten aan een wortel of stengel en dan voedingslichaampjes maken om voedingsstoffen en effectoren uit te wisselen. Net zoals bacteriën, schimmels, oömyceten en aaltjes, gebruiken parasitaire planten effectoren om het afweersysteem in de gastheer te onderdrukken. De kracht van parasitaire planten is de uitbundige bloemvorming en de enorme hoeveelheid zaad die ze produceren, tot wel honderdduizend zaden per plant. Die kunnen tientallen jaren overleven in de bodem. Zodra er een geschikte gastheer in de buurt is, wordt zaadkieming geactiveerd door een chemische stof die de gastheer uitscheidt. Dan begint de infectie: de gastheer wordt leeggezogen, verzwakt en gaat ten onder. Met name in Afrika zijn soorten van *Striga* en *Rhizophthora* desastreus in de mais- en rijstteelt, met opbrengstverliezen tot wel 70 procent. In grote delen van het continent is de grond besmet met zaden van deze parasieten, die in het Engels de veelzeggende namen *witchweed* en *vampireweed* hebben: heksenkruid en vampierkruid.



Striga parasiteert op de wortels van planten.

Plantenbelagers verhuizen vroeg of laat mee

GEWASSEN DIE hier op grote schaal worden geteeld, komen oorspronkelijk van elders. Je zou verwachten dat ze hier geen last hebben van hun vroegere belagers. Maar in de praktijk pakt dat anders uit. Vroeger of later duiken de belagers ook hier op. Door de globalisering is de kans daarop steeds groter.

■ PROF. DR. IR. ANDRÉ DRENTH

Consumenten willen momenteel graag weten waar hun voedsel vandaan komt. Minder vaak vragen ze zich af wat de herkomst is van de gewassen die al dat voedsel voor ons produceren. Alle gewassen hebben een land – of preciezer gezegd: een regio – van herkomst. Dat zijn de gebieden waar ze thuishoren, waar ze zich hebben aangepast aan de omgeving. De aardappel, tomaat en tuinboon komen bijvoorbeeld van oorsprong uit Zuid-Amerika, mais uit Midden-Amerika, appel uit Midden-Azië en bijna al onze granen uit het Midden-Oosten. De lokale bevolking

heeft de wilde planten door kruising en selectie veredeld tot voedselgewassen.

In de vijftiende eeuw trokken ontdekkingsreizigers erop uit om specerijen uit het Verre Oosten naar Europa te brengen. Dat leidde tot een groot-scheepse wereldwijde uitwisseling van planten, vaak onder regie van botanische tuinen waarvan er veel juist in die tijd zijn ontstaan. Deze intercontinentale verspreiding van planten tijdens de koloniale periode wordt ook wel de Columbiaanse uitwisseling genoemd, naar de ontdekkingsreiziger Columbus.

Gewassen die in het gebied van oorsprong worden verbouwd, krijgen veel belagers op hun dak, zoals schimmels, oömyceten, virussen en insecten. Die hebben zich in de loop van de evolutie aangepast, vaak met een sterke voorkeur voor bepaalde gewassen, hun waardplanten. Ze kunnen de opbrengst van zo'n gewas dan ook flink verlagen. Wanneer dat geteeld wordt buiten zijn oorsprongsgebied, heeft het niet langer last van deze belagers, wat de opbrengst ten goede komt. Zelfs nu, eeuwen na de Columbiaanse uitwisseling, heeft een groot deel van onze voedings- en handelsgewassen nog steeds baat bij de afwezigheid van de oorspronkelijke belagers. Wel is een gewas in een nieuw gebied soms vatbaar voor lokale belagers, zoals bacterievuur in appels en peren in Amerika, valse meeldauw in mais in Azië en blad-vlekkenziekte op gerst in Europa.

De grootste diversiteit in planten, dieren, insecten en schimmels komt voor in de tropen. Een specifiek gewas heeft daar te maken met wel vijf tot tien keer zoveel plantenbelagers als hetzelfde gewas in een gematigd klimaat. Omdat wij gewassen uit de tropen in een gematigd klimaat telen en vaak alleen in de zomer, met een winterse rustperiode waarin er geen waardplanten zijn, hebben deze plantenbelagers hier veel minder kans.

Koffieroest

Koffie is dankzij de stimulerende werking van cafeïne al eeuwen een populair genotsmiddel. De koffieplant komt van oorsprong uit Ethiopië. In de koloniale tijd introduceerden de Nederlanders de koffieplant in Indonesië, waar ze met grootschalige teelt begonnen. In 1867 werden de koffieplantages in de toenmalige Britse kolonie Ceylon (nu Sri Lanka) voor het eerst getroffen door *Hemileia vastatrix*, een schimmel uit Ethiopië die koffieroest veroorzaakt.

De bladeren werden zo sterk aangetast dat de productie van bonen geminimaliseerd werd. De Britten schakelden over op thee. Om aan de koffieroest te ontsnappen verhuisde een groot deel van de koffieproductie naar Midden- en Zuid-Amerika. In 1970 arriveerde de koffieroest in Brazilië en verspreidde zich binnen tien jaar over het hele continent. Succesvolle resistentieveredeling in koffie is recent tenietgedaan door de snelle evolutie van de schimmel.



Meeverhuizen

Maar plantenbelagers kunnen meeverhuizen met hun favoriete gewassen. Een klassiek voorbeeld is *Phytophthora infestans*. Driehonderd jaar nadat de aardappel van Zuid-Amerika naar Europa kwam, reisde deze veroorzaker van de aardappelziekte het gewas alsnog achterna, met een grote hongersnood in Ierland als gevolg. Andere voorbeelden zijn de appelschurft uit Midden-Azië en de roestschimmels in granen, die van oorsprong uit het Midden-Oosten komen. Sommige schimmelziektes komen van verwante waardplanten: de iepziekte bijvoorbeeld, die uit Azië komt.

Door de enorme toename in handel en toerisme kunnen plantenbelagers zich makkelijk over de wereld verspreiden. Dat zet de gezondheid van onze planten onder steeds grotere druk. De teelt van banaan bijvoorbeeld wordt met kunst- en vliegwerk overeind gehouden.

De invloed van plantenbelagers kan op verschillende manieren onder de duim worden gehouden. Voor schimmelziektes is het vaak een combinatie van toepassing van gewasbeschermingsmiddelen op de korte termijn, om de schade te beperken, en resistentieveredeling op de lange termijn. Plantenbelagers hebben een groot genetisch aanpassingsvermogen, waardoor plantenveredelaars en producenten van gewasbeschermingsmiddelen de populaties van plantenbelagers nauwkeurig in de gaten moeten houden. Voor bacterie- en virusziektes is preventie heel belangrijk. Dat kan door bijvoorbeeld gebruik te maken van gecertificeerd plantmateriaal dat getest is op de afwezigheid van deze plantenbelagers. Het probleem is dus eigenlijk nooit opgelost, maar gezamenlijk proberen wetenschappers en telers de plantenbelagers steeds een stapje voor te blijven.

De banaan is de pisang

■ IR. DORIET WILLEMEN

Chinese bananenplantage zwaar aangetast door de panamaziekte, veroorzaakt door de tropical race 4 variant van de schimmel *Fusarium*.



In de Nederlandse supermarkt is er weinig van te merken, want het schap met bananen is nog goed gevuld. Toch is het een kwestie van tijd voordat de gevolgen van twee verwoestende schimmelziekten in de bananenteelt ook hier merkbaar worden. Tenzij er snel een oplossing komt... De banaan heeft het zwaar te verduren. Wereldwijd worden de plantages aangetast. Om te beginnen is er de beruchte verwelkings- of panamaziekte, die wordt veroorzaakt door een reeks fusariumschimmels. In de jaren 60 dook in Azië een nieuwe, gevaarlijke variant daarvan op: *tropical race 4* oftewel TR4. Ondanks verwoede pogingen om die te stoppen, is het niet gelukt om verspreiding naar Afrikaanse plantages te verhinderen.

Sinds kort is de ziekteverwekker ook in Zuid-Amerika gevonden. Groot probleem is dat minstens de helft van het totale bananenareaal bestaat uit vatbare Cavendish-bananen, bestemd voor de export. In zo'n wereldwijde monocultuur is het voor een ziekte gemakkelijk om zich te verspreiden. Complete plantages worden verwoest, en de bodem blijft tientallen jaren ongeschikt voor bananenteelt. En dat terwijl banaan de voornaamste voedselbron is voor meer dan 400 miljoen mensen in de tropen. Alsof dit nog niet genoeg is, lijdt de banaan ook nog eens onder een bladschimmelziekte met de onheilspellende naam Black Sigatoka, veroorzaakt door de schimmel *Mycosphaerella fijiensis*. Om een gezonde

banaan in de supermarkt te krijgen, wordt op een plantage 25 tot 70 keer per jaar met gewasbeschermingsmiddelen gespoten. Maar de schimmel die Black Sigatoka veroorzaakt, wordt steeds ongevoeliger voor deze chemische middelen. Het is dan ook geen optie om de dure en vervuilende middelen te blijven gebruiken. Daarom werken onderzoekers aan de ontwikkeling van resistente bananenrassen. Ze maken daarbij gebruik van wilde verwanten met genen die de plant weerbaar maken tegen de ziekteverwekkers. Zo komen er nieuwe mogelijkheden om ervoor te zorgen dat de banaan niet voor lange tijd de pisang is.

Insecten als vriend en vijand

■ DR. MARTINE KOS EN PROF. DR. MARCEL DICKE

MET ONGEVEER één miljoen beschreven soorten zijn insecten de meest diverse groep van organismen die op onze aarde leven: ze omvatten meer dan de helft van alle soorten die op dit moment bekend zijn. Insecten zijn als bestuivers essentieel voor de voortplanting en helpen planten bij hun verspreiding. Omgekeerd vormen planten een belangrijke voedselbron voor insecten. Van de miljoen beschreven insectensoorten heeft ongeveer de helft planten op het menu staan. Opvallend genoeg worden slechts zo'n vijfduizend soorten, dus een half procent van alle insectensoorten, gezien als serieuze plagen voor de mens. Toch zijn plaaginsecten samen verantwoordelijk voor het vernietigen van bijna een vijfde van de totale gewasproductie op aarde, ondanks het intensieve

De coloradokever *Leptinotarsa decemlineata* lust vooral graag bladeren en bloemen van planten uit de nachtschadefamilie, zoals aardappel- en tomatenplanten.



gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. In de natuur daarentegen zijn plagen een uitzondering. Hoe kan dat?

SOS-sigitaal

Planten in de natuur kunnen zich heel goed verdedigen tegen de insecten die het op hen voorzien hebben. Allereerst kunnen planten zich *direct* verdedigen. Dat is de doe-het-zelf-methode van de fysieke verdediging met doorns, haren of dikke, stugge bladeren waar insecten moeilijk doorheen komen met hun monddelen, of de chemische verdediging, bijvoorbeeld met giftige afweerstoffen. Denk maar aan de bittere smaak van spruitjes en mosterd: wat je proeft zijn de afweerstoffen, glucosinolaten, die planten uit de koolfamilie zoals spruitjes, bloemkool, boerenkool en mosterd produceren om zich te verdedigen tegen insecten.

Daarnaast verdedigen planten zich *indirect* door het aantrekken van de natuurlijke vijanden van de planteneters. De vijand van je vijand is immers je vriend! Zodra planten worden aangevreten, produceren ze geurstoffen die door sluipwespen, roofmijten en andere natuurlijke vijanden worden gebruikt om hun prooi te vinden. Die geurstoffen vormen een soort SOS-sigitaal waarmee de plant natuurlijke hulptroepen oproept.

Planten kunnen zich niet bewegen om zo te ontsnappen aan hongerige planteneters, maar ze hebben dus wel ingenieuze afweertactieken. Binnen één plantensoort zijn er rassen die deze verdedigingsopties beter beheersen dan anderen. Als we daar oog voor hebben, dan kunnen we goed verdedigende plantensoorten selecteren voor onze voedselproductie en zo het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen terugdringen.

De jacht op plantenbelagers

■ DR. IR. IRIS STULEMEIJER EN DR. IR. GERARD VAN LEEUWEN

OM PLANTENBELAGERS effectief te kunnen bestrijden, is het belangrijk om ze te detecteren en te identificeren. Dat gebeurt op basis van wetenschappelijke kennis, ervaring en onderzoek. De identificatie is uitdagend, omdat voor de eerste stap, symptoomherkenning, expertise uit verschillende vakgebieden nodig is. Symptomen worden niet alleen veroorzaakt door allerlei belagers, maar net zo goed door omstandigheden als het weer, voedingstoffengebrek of milieuverontreiniging. Ook kunnen belagers in op het oog gezonde planten aanwezig zijn en een gevaar vormen voor andere gewassen, die wel symptomen krijgen. Voor de algemene plantgezondheid is detectie en identificatie essentieel om verspreiding van bekende belagers te voorkomen en nieuwe tijdig te signaleren. Elke belager vereist andere maatregelen. Hieronder vijf voorbeelden.

VIRUS IN LELIES

Het latent aardbeikringvlekkenvirus (SLRSV) kan voorkomen in allerlei fruit- en siergewassen, waaronder de lelie. In diverse fruitgewassen veroorzaakt het bladvlekkenziekte en groeiachterstand. Geïnfecteerde lelies zijn op het oog gezond, maar wanneer geïnfecteerde bollen geplant worden, vormen ze een bedreiging voor andere gewassen. Het virus wordt namelijk overgedragen door twee soorten aaltjes die het virus in de bodem aan andere plantensoorten doorgeven, onder meer fruitgewassen als druiven, bessen en aardbeien. Met antilichamen, eiwitten die specifiek reageren op aanwezigheid van het virus, wordt daarom vóór de export gecontroleerd of de bollen virusvrij zijn. Omdat



Ook snuffelhonden worden ingezet om plantenbelagers op te sporen.

vegetatieve vermeerdering van lelies zorgt voor instandhouding van het virus, is het dus cruciaal om voor vermeerdering gezonde lelies te selecteren. Dit gebeurt met een pas ontwikkelde moleculaire toets die heel gevoelig SLRSV-varianten in de leliebollen aantoot.

BACTERIE IN ROZEN

De zeer besmettelijke bacterie *Ralstonia solanacearum* veroorzaakt bruinrot in aardappels en heeft een quarantainestatus binnen de EU. Dat betekent dat planten die ermee besmet zijn, alsook naburige planten, verplicht geruimd moeten worden. In 2015 werden in rozen verscheidene symptomen gesignaleerd: zwartver-

kleuring en necrose van de stengels, en vergeling en verwelking van de bladeren. Die leken sterk op de bruinrotsymptomen in aardappel. Na isolatie van de ziekteverwekker uit de aangetaste rozen en DNA-identificatie bleek de boosdoener een tropische variant van *Ralstonia solanacearum* te zijn, die uiteraard goed gedijt in verwarmde kas- sen. Verder bleek dat rozencultivars verschillen in gevoeligheid en dat de bacterie aanwezig kan zijn zonder symptomen te veroorzaken. Aangezien deze bacteriën kunnen overleven in grond, water en plantenresten, kan de ziekte zich gemakkelijk ongemerkt verspreiden. Daarom moest de rozenkas verplicht geruimd worden, gevolgd door zeer grondig reinigen en ontsmetten. Er zijn recent geen nieuwe aantastingen door deze tropische variant van *Ralstonia solanacearum* in rozenkassen meer waargenomen.

BASTKANKER IN TAMME KASTANJE

Een plantenbelager die bastkanker veroorzaakt in tamme kastanje is de schimmel *Cryphonectria parasitica*. Bij de agressieve vorm valt de rood-oranje verkleuring van de bast op. De schimmel komt vooral in Zuid-Europese landen voor, maar is ook in Noord-Europese landen aangetroffen. Door tijdige detectie en het verwijderen van zieke bomen is het tot nu toe gelukt om de ziekte in Noord-Europa onder controle te houden. Het is daarom van groot belang om bij transport van jonge boompjes van Zuid- naar Noord-Europa streng te controleren op aanwezigheid van deze schimmel. Helaas is alleen naar symptomen kijken niet voldoende. Er bestaan namelijk ook minder agressieve stammen van *Cryphonectria parasitica*, die nauwelijks symptomen veroorzaken. Dat komt door een virus dat de schimmel infecteert. Die ontdekking wordt onder andere in Italië benut om bastkanker biologisch te bestrijden. Geluk-

tig beschikken we tegenwoordig over gevoelige DNA-technieken waarmee alle stammen van de schimmel gedetecteerd kunnen worden.

BOKTOR

Van de vele duizenden soorten boktorren (familie *Cerambycidae*) vormt een aantal een gevaar voor naald- en loofbomen in parken en bossen. Vrouw- tjes leggen met hun legboor eieren onder de bast van bomen en struiken. Wanneer de larven uitkomen, leven ze op het vaat- en houtweefsel en maken gangen onder de bast of boren tot diep in het hout van de stam. Als de kever uitkomt, vreet hij zich door het hout en de bast naar buiten en vliegt weg. De larven en kevers veroorzaken veel schade, zeker als ze in groten getale aanwezig zijn. Daarnaast kunnen ze ook andere plantenbe- lagers verspreiden, zoals het dennenhoutaaltje, dat naaldbomen aantast. Op locaties waar levende bomen en goederen met verpakkingshout van buiten Europa binnenkomen, wordt daarom streng gecontroleerd, en op risicolocaties wordt gericht gezocht naar boktorren met vallen, lok- stoffen en zelfs snuffelhonden. De laatste tien jaar moesten tijdens twee uitbraken van de Aziatische boktor in Almere en Winterswijk tientallen bomen worden gekapt; zo ook na twee uitbraken van de Oost-Aziatische boktor in Honselersdijk en Boskoop. Deze acties waren nodig om vestiging en verdere verspreiding in Nederland te voorkomen. Met succes, want sindsdien zijn geen schadelijke boktorren meer gevonden.

AARDAPPELMOEHEID

Aardappelmoehheid wordt veroorzaakt door de aaltjes *Globodera pallida* en *Globodera rostochiensis*. Aangetaste aardappelplanten groeien slecht of

gaan zelfs dood. Aardappelmoeheid heeft een quarantainestatus in de Europese Unie. Op de wortels van aangetaste planten vormen zich grote aantallen cysten, bolletjes van circa een millimeter in diameter, waarin honderden eitjes van het aaltje aanwezig zijn. Deze cysten blijven jarenlang een besmettingsbron voor een volgend aardappelgewas. Ook kunnen ze nieuwe percelen besmetten, namelijk door mee te liften in grondresten die blijven hangen aan machines of aan ongevoelige gewassen die elders weer worden geplant. Om die reden moet voorafgaand aan de teelt van veel gewassen verplicht vastgesteld worden of een perceel vrij is van deze aaltjes. Daartoe worden grondmonsters gespoeld, waarna met een microscoop bekeken wordt of er cysten met levende eitjes aanwezig zijn. Op besmette percelen mogen alleen resistente consumptie-aardappelrassen verbouwd worden, aangezien de aaltjes zich dan niet kunnen vermeerderen.

Kortom, voor het detecteren en identificeren van plantenbelagers gebruiken plantenziektkundigen vele technieken. De ontwikkelingen staan niet stil. Nieuwe moleculaire technieken zijn in opkomst. Zo maakt *Next Generation Sequencing* het in principe mogelijk om in één analyse al het genetisch materiaal van bacteriën, aaltjes, schimmels, oömyceten en virussen in een plant te vinden. Voordat deze techniek echter kan worden ingezet, moet eerst de benodigde ict-infrastructuur en -expertise beschikbaar zijn. Daarnaast zal de betrouwbaarheid van de analyses moeten worden aangetoond, want vóór alles geldt dat een diagnose juist moet zijn.

Populair zijn de dipsticks, die relatief voordelig en snel zijn en lijken op zwangerschapstesten

Zo gaat de moderne plantendokter te werk

■ DR. PETER BONANTS

OM ALLE mogelijke ziekteverwekkers op te sporen wil de land- en tuinbouw graag gebruik maken van specifieke, gevoelige, robuuste en snelle testen, bij voorkeur tegen lage kosten. De testen uit het verleden zijn veelal gebaseerd op eigenschappen die met een microscoop zijn waar te nemen, zoals vorm of groei. In de jaren 70 werden testen ontwikkeld op basis van antilichamen, stoffen die hechten aan specifieke eiwitten van de plantenbelager. Vanaf de jaren 90 kwamen daar de DNA-testen bij. Op basis van de erfelijke eigenschappen van de plantenbelager werden specifieke testen ontwikkeld, die een kenmerkend deel van één organisme in kaart brachten. Een veelgebruikte variant hiervan is de TaqMan PCR, een DNA-test die niet alleen de aanwezigheid van een specifieke ziekteverwekker in het monster zichtbaar maakt, maar ook de hoeveelheid. Veel testen kunnen alleen in een laboratorium plaatsvinden, zoals de ELISA-test, die tegen relatief lage kosten specifieke bacteriën en virussen kan opsporen. Voor diagnose worden de monsters opgestuurd naar keuringsdiensten of gespecialiseerde bedrijven. Om ook in het veld of de kas te kunnen meten, zijn andere methoden ontwikkeld. De LAMP-methode is een DNA-test, die met een simpel draagbaar apparaat binnen een half uur ziekteverwekkers kan aantonen, zoals bijvoorbeeld een virus in witte vlieg. Ook populair zijn de zogenoemde dipsticks, die relatief voordelig en snel zijn en lijken op zwangerschapstesten: binnen tien minuten zie je of een gewas misschien is besmet met virussen of bacteriën.

Om de diagnose nog beter en efficiënter te maken, zijn er nieuwe methoden in ontwikke-



Laborant onderzoekt met LAMP, een snelle DNA-test, of het blad van een orchidee is aangetast met de bacterie *Acidovorax cattleyae*. Binnen 30 minuten is de uitslag bekend.

ling die meerdere ziekteverwekkers tegelijkertijd kunnen detecteren. Het Luminex-systeem bijvoorbeeld. Dat maakt gebruik van gekleurde bolletjes met daaraan gekoppeld specifieke antilichamen of stukjes DNA, waarmee in een monster tot wel honderd verschillende ziekteverwekkers tegelijk kunnen worden geanalyseerd.

Voor de meeste moleculaire technieken moet erfelijke informatie beschikbaar zijn. Dit DNA bestaat uit vier bouwstenen (A, C, G en T) die voor elk organisme een vaste volgorde hebben: de DNA-sequentie. Waar men in de jaren 80 honderden bouwstenen per dag kon bepalen, is men nu met *Next Generation Sequencing* in staat om de volgorde van 6000 miljard bouwstenen in 48 uur te genereren. Wetenschappers worden aangemoedigd om deze informatie op te slaan in databestanden

die voor iedereen toegankelijk zijn. Daarin zit de genetische informatie van heel veel verschillende organismen, dus ook van reeds bekende plantenbelagers en zelfs van verschillende stammen van één en dezelfde plantenbelager. Als je DNA-gegevens hebt van een verdachte ziekteverwekker, kun je ze vergelijken met de DNA-sequenties in publieke databestanden en snel de ziekteverwekker identificeren. Ook kun je achterhalen waar de ziekteverwekker eerder gevonden is en of het een nieuwe of reeds bekende stam is. Al met al beschikken we over een enorme toolbox van methoden om ziekteverwekkers te detecteren.

Bijbelse plaag

■ IR. DORIET WILLEMEN

Afrikaanse boerin moet toezien hoe sprinkhanen haar oogst opeten.



Sprinkhanenplagen teisterden de wereld al duizenden jaren. In het Oude Testament wordt de verwoestende impact al beschreven: *'In het hele land streken ze in grote zwermen neer. Ze bedekten het hele land. Het zag er zwart van de sprinkhanen. Ze aten alle planten en vruchten op. Zo bleef er in heel Egypte geen sprietje groen meer over.'*

Kieskeurig zijn de beestjes inderdaad niet. Waar veel insectensoorten zich beperken tot één of enkele plantensoorten, eet de woestijnsprinkhaan *Schistocerca gregaria* alles op wat hij tegenkomt, een troosteloos en kaalgevreten land achterlatend. Bekijk eens een video van de recente sprinkhanenplaag in Oost-Afrika; dan dringt het probleem pas echt in zijn volle

omvang door. Een zwerm is 60 kilometer lang, 40 kilometer breed en telt gemiddeld 40 tot 80 miljoen beestjes per vierkante kilometer. Hoe ga je een sprinkhanenzwerm van die omvang bestrijden? Sproeien met chemische middelen vanaf de grond is onbegonnen werk. Vanuit een sproeivliegtuig dan – met alle bijkomende risico's voor mens en dier? Als individuele boer sta je machteloos. In Ethiopië en Somalië hebben de insecten in één seizoen ruim 700 vierkante kilometer aan landbouwgewassen en weidegras opgevreten. Dat betekent dat er hongersnood dreigt voor de mensen en het vee. De Wereldvoedselorganisatie (FAO) raadt de bevolking aan om sprinkhanen te vangen en te drogen zodat er de komende maanden ten-

minste iets te eten zal zijn. Door hun hoge eiwitgehalte zijn de insecten erg voedzaam.

Daarnaast wordt ook gekeken naar een milieuvriendelijke aanpak van sprinkhanenplagen door de inzet van de parasitaire schimmel *Metarhizium anisopliae*. Schimmelsporen worden op het gewas gespreoid en ontkiemen wanneer ze in aanraking komen met het insect. Schimmeldraden groeien vervolgens door het pantser van de sprinkhaan heen het lichaam binnen, scheiden giftige stoffen uit en doden de sprinkhaan, die uiteindelijk groen kleurt door de vele schimmelsporen die erop groeien. Deze sporen kunnen op hun beurt weer andere sprinkhanen infecteren en zo misschien de plaag beteugelen.

De tol van ziekten en plagen in de landbouw

■ PROF. DR. ANDY NELSON

VOEDSEL IS VOOR ons iets vanzelfsprekends: het grootste deel van de westerse wereld heeft al minstens twee generaties geen hongersnood gekend. Ook hebben de meeste mensen in het Westen al twee generaties lang geen boeren meer onder hun naaste verwanten. Onze band met de landbouw lijkt doorgesneden. In de niet-westerse wereld is dat anders. Daar kan voedsel schaars zijn en soms is er zelfs helemaal geen voedsel. Landbouw is er nog steeds een belangrijke activiteit. Maar in beide werelden worden planten bedreigd door ziekten en plagen die hun tol eisen. We beseffen maar zelden dat dat overal ter wereld gebeurt, bij alle gewassen.

Ziekten en plagen hebben een negatief effect op de wereldwijde voedselproductie. Ze leiden vaak tot oogstverliezen: lagere opbrengst, mindere kwaliteit. Dat geldt voor zowel kleinschalige, diverse,

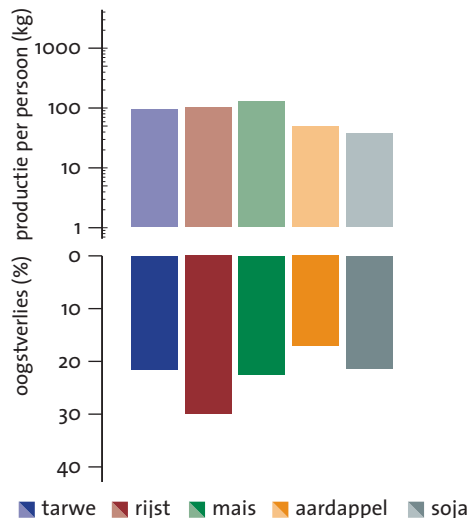
traditionele landbouw als intensieve landbouw met grootschalige, genetisch uniforme monoculturen.

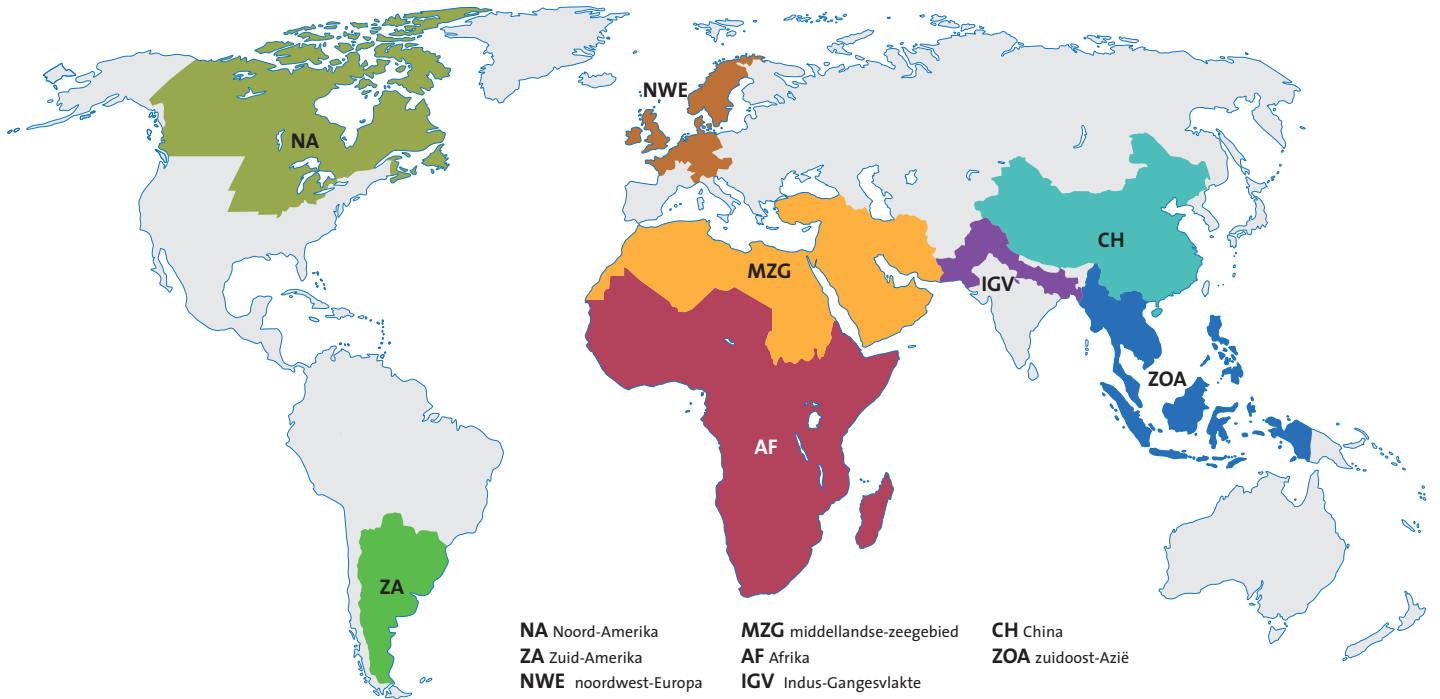
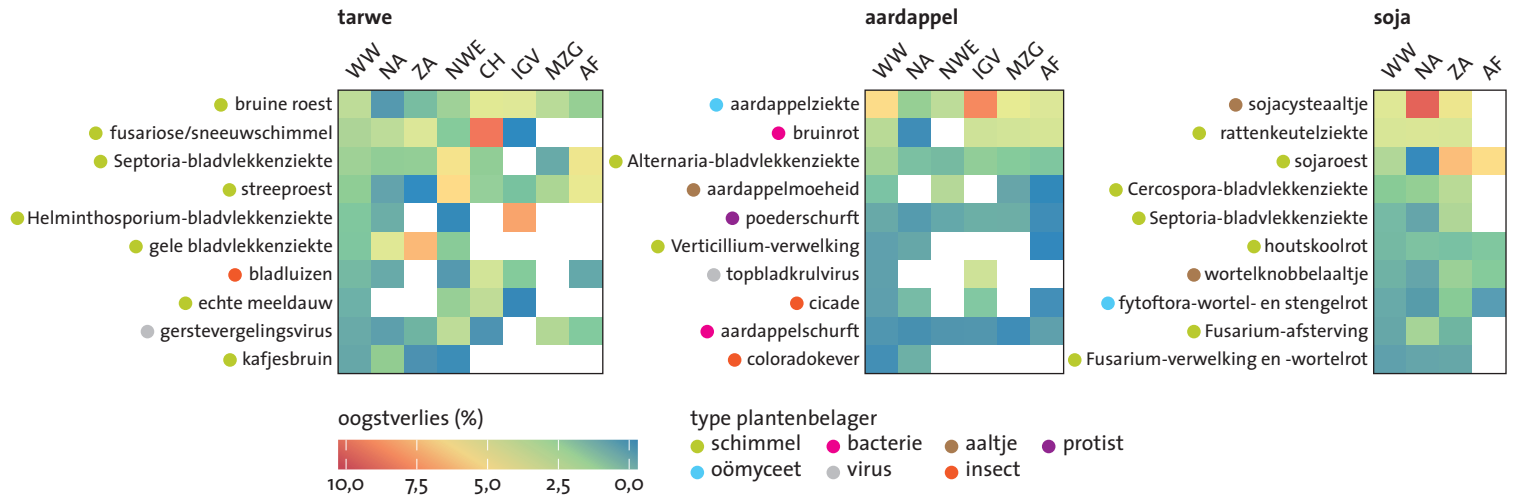
Wetenschappers zijn het erover eens dat ziekten en plagen een belangrijke oorzaak zijn van oogstverliezen en een bedreiging vormen voor de voedselzekerheid. Toch is het moeilijk om dat met harde cijfers te staven, om twee redenen. De eerste is de enorme biologische diversiteit van plantenbelagers: dat kunnen virussen zijn, bacteriën, schimmels, oömyceten, aaltjes, insecten, slakken, knaagdieren of parasitaire planten. Die diversiteit maakt het lastig om het verlies per gewas aan één belager toe te schrijven. De andere reden is ecologisch van aard: plantenbelagers zijn een integraal onderdeel van door de mens gecreëerde landbouwsystemen. Ze zijn zelfs in de loop van duizenden jaren met landbouwgewassen mee gedomesticeerd. Het gevolg is dat het effect ervan op de landbouw moeilijk los kan worden gezien van het complexe web van interacties tussen factoren die een rol spelen in landbouwsystemen.

De *International Society for Plant Pathology* (ISPP) besloot in 2016 een enquête te houden om de oogstverliezen als gevolg van ziekten en plagen in kaart te brengen. Die wereldwijde online-enquête werd gehouden tussen 1 november 2016 en 31 januari 2017 en bereikte meer dan 2500 ISPP-leden en bijna honderd plantgezondheidsexperts van verschillende wetenschappelijke organisaties overal ter wereld.

Met een eenvoudige online-vragenlijst werden bijna duizend reacties verzameld uit 67 landen. Zij waren deskundig op het gebied van vijf belangrijke gewassen: tarwe, rijst, mais, soja en aardappels. Er is voor die vijf gekozen omdat ze bij elkaar goed zijn voor bijna de helft van de wereldwijde calorieconsumptie door de mens. De 67 landen vertegenwoordigen 84 procent van de mondiale productie van de vijf gewassen.

Wereldwijde productie per persoon in kilo's (boven) en oogstverliezen in procenten (onder).





Ziekten en plagen in tarwe, aardappel en soja die wereldwijd (WW) de hoogste oogstverliezen veroorzaken. De hittekaarten geven aan welk percentage van de oogst verloren gaat, welke plantenbelagers daarvoor verantwoordelijk zijn, en

hoe dit varieert per regio. Op de wereldkaart zijn acht regio's aangegeven waar de vijf belangrijkste voedselgewassen geteeld worden.

Ethiopische boeren oogsten teff oftewel Abessijns liefdegras. Van de kleine zaden worden platte koeken, pap of bier gemaakt.



De grootste verliezen doen zich voor in gebieden met te weinig voedsel en een snelgroeiende bevolking

De enquête brengt in kaart hoe groot de oogstverliezen zijn door toedoen van 137 plantenbelagers. Geschat wordt dat de verliezen in tarwe wereldwijd 10 tot 28 procent bedragen, in rijst 25 tot 41 procent, in mais 20 tot 41 procent, in aardappel 8 tot 21 procent en in soja 11 tot 32 procent.

Het onderzoek levert ook schattingen op van oogstverliezen die zijn toe te schrijven aan afzonderlijke plantenbelagers voor deze vijf gewassen.

De resultaten maken duidelijk dat de impact van ziekten en plagen op gewassen per regio verschillen. De grootste verliezen doen zich voor in gebieden met te weinig voedsel en een snelgroeiende bevolking, en dan vaak als gevolg van plantenbelagers die nieuw zijn in deze gebieden of opnieuw hun intrede doen.

Met deze kwantificering van oogstverliezen in vijf belangrijke voedselgewassen kunnen we de in het verleden geboekte voortuitgang in manage-

ment van plantgezondheid meten en beschikken we over een ijkpunt voor vorderingen op dat gebied in de toekomst. De resultaten verschaffen een basis voor verder onderzoek en bieden handvatten voor prioritering van het beleid voor plantgezondheid. Sommige ziekteverwekkers en plagen zijn chronisch, wat wil zeggen dat ze zich keer op keer manifesteren en wijdverbreid voorkomen. Voor deze plantenbelagers moet gestreefd worden naar efficiënte en duurzame beheersmaatregelen, zoals de ontwikkeling van resistente rassen. Met enige regelmaat verschijnen er ook nieuwe ziekten en plagen of ze leven weer op. In het recente verleden heeft dit geleid tot forse toenames in oogstverliezen. Bij zulke uitbraken is onmiddellijke actie vereist, zodat de epidemie een halt kan worden toegeroepen. Vervolgens moet snel gezocht worden naar langetermijnoplossingen, bij voorkeur ook weer in de richting van resistente variëteiten.

Hongersnood en volksverhuizing

■ IR. DORIET WILLEMEN



De hongersnood die ontstond door de aardappelziekte maakte in Ierland vele slachtoffers zoals dit gezin uit Killarney.

Er komen allerlei verschillende ziekten in aardappel voor, maar eentje steekt er met kop en schouders boven uit: die met de simpele naam 'aardappelziekte'. Het is één van de belangrijkste plantenziekten, zowel vroeger als nu. In 1845 maakte Europa voor het eerst kennis met de aardappelziekte, die zich dat jaar over heel West-Europa verspreidde en de aardappeloogst volkomen verwoestte. Dat kwam het hardst aan in Ierland, waar een groot deel van de bevolking sterk afhankelijk was van dit ene gewas. Uiteindelijk verhongerden er anderhalf miljoen Ieren; nog eens een miljoen emigreerden er, voornamelijk naar de Verenigde Staten. Verantwoordelijk voor dit alles was de schimmelachtige ziekteverwekker *Phytophthora infestans*, letterlijk

vertaald betekent dat 'besmettelijke plantverwoester'. Een toepasselijke naam, gezien de fatale aantasting van de slachtoffers en de snelle verspreiding van plant tot plant en van veld tot veld. Alleen een kostbare combinatie van bestrijdingsmethoden is effectief tegen deze ziekteverwekker, die naast aardappel ook tomaat ernstig aantast. De aardappelziekte komt wereldwijd voor en is vooral in natte jaren een groot probleem in alle gematigde streken met een vochtig klimaat. *P. infestans* behoort namelijk tot de waterschimmels (oömyceten), die prima gedijen in een vochtige omgeving. Ook in andere planten komen ziekten voor die worden veroorzaakt door fytoftora. Berucht is *Phytophthora ramorum*, die sterfte van een groot

aantal verschillende bomen en struiken veroorzaakt. De ziekteverwekker werd ruim twintig jaar geleden voor het eerst aangetroffen bij eiken in Californië en kreeg daar de naam *sudden oak death*. In Nederland is *P. ramorum* gevonden bij beuk, Amerikaanse eik en bij populaire tuinheesters als rododendron en taxus. Verwilderde rododendrons in bossen zijn vatbaar doordat in de windluwe schaduw de planten vaak lang nat blijven; vocht is essentieel voor infectie door waterschimmels. Om te voorkomen dat *P. ramorum* zich in ons land uitbreidt, is de gezamenlijke inzet nodig van boomkwekers, hoveniers, natuurbeheerders, gemeenten en particuliere land- en tuineigenaren.

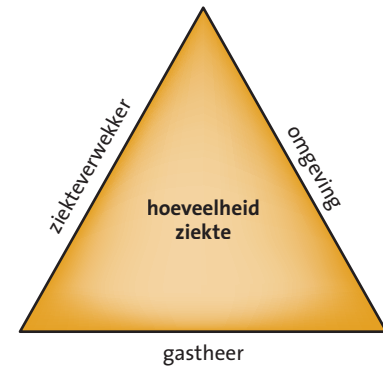
Beter bewaren

■ DR. IR. SUZAN GABRIËLS EN PROF. DR. ERNST WOLTERING

IEDEREEN BAALT er weleens van: pak je een sinaasappel uit de fruitmand, zit er een blauwgroen laagje op de schil! Dat zijn sporen van de schimmel *Penicillium*. Die is dan al ver in de rottende sinaasappel binnengedrongen. Als je de sinaasappel beetpakt, vliegen de sporen in het rond. Om verspreiding te voorkomen kun je beter alle bedorven vruchten weggooien. Voor consumenten is dat vervelend, voor de groente- en fruitsector soms desastreus. Bij transport en opslag gaan op die manier miljoenen tonnen verloren. Na de oogst worden groenten en fruit doorgaans voor kortere of langere tijd bewaard en daarna vaak getransporteerd. Europa produceert 60 miljoen ton fruit en importeert 10 miljoen ton, met een totale waarde van 30 miljard euro, zo blijkt uit gegevens van GroentenFruit Huis, de Nederlandse belangenorganisatie van de sector. Maar liefst 30 tot 40 procent van die producten gaat door allerlei oorzaken na de oogst verloren. Ziekteverwekkende schimmels zijn de grootste boosdoeners.

Bewaring is essentieel voor producten die niet jaarrond geteeld kunnen worden. Appels en peren kunnen bij een lage temperatuur (0 tot 1 graad Celsius) en een laag zuurstofgehalte (1 tot 2 procent)

wel tien tot elf maanden goed blijven. Bewaring bij kamertemperatuur vergroot de kans op bederf. Bederf treedt niet alleen op door infectie met ziekteverwekkers, maar ook door veroudering of doordat de vruchten overrijp zijn. Infectie vindt alleen plaats als de ziekteverwekker aanwezig is, als de vruchten (gastheer) vatbaar zijn en als de omgevingsfactoren gunstig zijn voor de ziekteverwekker.



Bewaarziekten zijn te voorkomen door het telen van resistente rassen, met hygiënemaatregelen – vaak in combinatie met chemische bestrijdingsmiddelen en een behandeling met warm water of UV-straling – en met koele bewaring bij een laag zuurstofgehalte waardoor de infecties en de rijping vertragen en de kwaliteit behouden blijft.

Langetermijnbewaring wordt door klimaatverandering steeds crucialer. Droogte en overstromingen hebben bijvoorbeeld een negatief effect op de kwaliteit van geoogste producten. Bovendien mogen er steeds minder chemische bestrijdingsmiddelen worden ingezet. De toekomst vraagt dan ook om duurzame maatregelen als het gebruik van biologische bestrijdingsmiddelen, het verder exploiteren van resistentieveredeling en het meten van bederf. Dat laatste kan met sensoren die vluchtige stoffen detecteren om de juiste bewaarstrategie te bepalen.

Links: Deze rottende appels zijn geïnfecteerd met de oömyceet *Phytophthora cactorum*, verwant aan de vijand van aardappel *Phytophthora infestans*.

Rechts: Conference-peren met visogen, deze bruine plekken worden veroorzaakt door de schimmel *Cadophora luteo-olivacea*.



Vermindert plantendiversiteit de ka

■ PROF. DR. IR. LIESJE MOMMER

AL SINDS 1950 vermoeden ecologen dat biodiversiteit beschermt tegen plantenbelagers. Ecosystemen met veel plantensoorten, zoals bijvoorbeeld natuurlijke graslanden of tropische regenwouden, lijken er minder last van te hebben dan landbouwsystemen waarin hele akkers vol staan met één en dezelfde variëteit van één gewas. In akkers of op golfvelden zie je wel eens een kale plek waar een ziekte heeft huisgehouden, want daar zijn de planten verdord of klein gebleven. In een natuurlijk, soortenrijk ecosysteem zie je dat soort plekken eigenlijk nooit. Het kan natuurlijk zijn dat een zieke plant verdrukt wordt door gezonde, maar ecologen denken dat er meer aan de hand is. Ze vermoeden dat biodiversiteit de kans op plantenbelagers verkleint.

Sinds 1990 is er wereldwijd steeds meer aandacht voor de negatieve gevolgen van soortenverlies op het functioneren van ecosystemen. Ecologen zijn proeven gestart om de effecten van biodiversiteit op de groei van planten te meten. Ze doen biodiversiteitsproeven, waarbij ze vegetaties samenstellen die verschillen in soortenrijkdom. Ze onderzoeken meestal graslandsoorten (grassoorten en kruiden), want die zijn makkelijker hanteerbaar dan bomen. Ze hebben ontdekt dat soortenrijke vegetaties over het algemeen beter groeien dan soortenarme. De verschillende plantensoorten zouden gezamenlijk de beschikbare hulpbronnen beter en efficiënter benutten dan wanneer ze elk alleen groeien, zo verklaarden ecologen dat aanvankelijk. Maar onlangs is duidelijk geworden dat ook ziekten een belangrijke rol spelen. Plantendiversiteit lijkt ziekten minder kans te geven. Dat



bleek bijvoorbeeld uit een studie naar de aanwezigheid van bladschimmels op planten in een biodiversiteitsexperiment. Er werden weliswaar meer soorten plantpathogene schimmels aangetroffen in de percelen met veel plantensoorten dan in de monoculturen, maar de aantasting van het blad per plant was in totaal minder in de soortenrijke percelen.

Verdunningseffecten

Er is vooral veel aandacht voor deze 'verdunnings-effecten' van plantendiversiteit op ziekteverwekkende bodemorganismen, omdat die notoir lastig

ns op ziektes?



Ecologen aan het werk in een biodiversiteitsexperiment in Wageningen. Iedere zomer oogsten ze de planten. Zo kunnen ze de effecten over meerder jaren bepalen.

te bestrijden zijn, zeker nu steeds meer bestrijdingsmiddelen verboden worden. Hoe denken ecologen dat het werkt? Planten hebben via hun wortels effect op de bodem. Ze nemen niet alleen essentiële voedingsstoffen op, ze sturen ook bodemorganismen aan. Als plantensoorten lang op dezelfde plek in de bodem staan, worden plantenpathogenen ter plaatse talrijker. De effecten van deze 'bad guys' staan bekend onder de naam 'negatieve plant-bodem-feedback'. Om die ophoping van ziekteverwekkers te voorkomen, doen boeren aan vruchtwisseling: ieder seizoen wisselen ze de gewassen op het veld. Diverse onderzoeken hebben laten zien dat soortenrijkdom de negatieve plant-bodemfeedback vermindert. In soortenrijke systemen zijn er minder bodemziektes dan in monoculturen. We weten alleen nog niet precies hoe dat werkt. In de bodem is de biodiversiteit echt enorm: per hectare leven er zeker biljoenen organismen, behorend tot vele duizenden soorten, waarvan we de functies bij lange na nog niet kennen. In het algemeen kun je stellen dat de 'bad guys' in de bodem veelal schimmels en aaltjes zijn, maar tussen en binnen deze groepen organismen zijn er grote verschillen in levensstijl, waardoor de verdunningseffecten van biodiversiteit verschillend kunnen uitpakken. Een studie opende deze 'black box' en vond dat 26 ziekteverwekkende bodemschimmels in dichtheid afnamen wanneer de plantendiversiteit toenam. Maar er zijn ook studies waarin aaltjes juist toe lijken te nemen met groeiende biodiversiteit. Kennelijk is niet alleen de soortenrijkdom cruciaal, maar ook de soorten-samenstelling. Theoretisch kan plantendiversiteit

alleen tot een verdunning van ziekten leiden als de dichtheid van de vatbare gastheer afneemt. In een mengsel staan planten van dezelfde soort gemiddeld verder van elkaar af dan in een monocultuur. Hierdoor verspreiden de bodemziektes zich langzamer, tenminste als die andere soorten géén gastheer zijn voor de ziekte.

Door plantensoorten te kiezen die geen gastheer van de meest notoire pathogenen zijn, lijken we dus direct de ziektedruk te kunnen verminderen. Maar er gebeurt meer onder de grond. Planten kunnen de bodem op nog een andere manier beïnvloeden: ze scheiden via hun wortels stoffen uit die de groei van ziekteverwekkende schimmels kunnen afremmen. Die stoffen kunnen ook specifieke bacteriën of andere micro-organismen aantrekken, die de ziekteverwekkers beconcurreren of aanvallen. Ecologen denken dat soortenrijke vegetaties dit natuurlijk arsenaal aan 'good guys' een extra zetje kunnen geven, waardoor de bodem weerbaarder is tegen allerlei ziekten.

Als we goed begrijpen hoe diversiteit in natuurlijke ecosystemen de kans op ziekten verkleint, kunnen we die principes ook toepassen in landbouwsystemen, zodat onze voedselgewassen weerbaarder zijn tegen ziektes. De eerste poging daartoe is de strokenteelt. Boeren en wetenschappers onderzoeken of ziekten minder vaak voorkomen als verschillende gewassen in stroken naast elkaar worden geteeld op een perceel. De toekomst zal het leren.



Hoe kun je plantenbelagers te slim af zijn? Werp barricades op en geef ze geen kans.

2

Voorkómen is beter

Preventie is het codewoord in de plantgezondheid: hoe kunnen we ziektes vóór zijn, hoe kunnen we voorkomen dat het gewas wordt belaagd? Aanpassing van de omgeving van de plant is één manier: zorgen dat de barrières om bij de plant te komen, hoog zijn. Ook ín de plant kunnen we barricades opwerpen, door resistente planten te selecteren en te veredelen. Verder kunnen we met voorbehandeling van het zaad de plant een goede start geven en wapenen tegen indringers. En dan hebben we tegenwoordig ook nog apps die alarm slaan zodra de omstandigheden bevorderlijk zijn voor ziekteverwekkers.

Gewassen wapenen met een weerbare omgeving

■ DR. IR. WALTER ROSSING

ER IS steeds meer belangstelling voor teeltmaatregelen die beogen de weerstand van planten tegen ziekten en plagen te verhogen. Afstand creëren tussen planten van dezelfde soort – beschouw het maar als agrarische ‘social distancing’ – kan ook gewassen gezond houden.

Een slechte woon- of werkomgeving kan mensen ziek maken en vermindert hun levensverwachting. Geneesmiddelen nemen misschien symptomen weg, maar niet de oorzaak. Ook voor planten en gewassen geldt dat de omgeving waarin ze geteeld

worden sterk bepalend is voor hun gezondheid. Een boer combineert klimaat en de eigenschappen van gewassen en bodem zo goed mogelijk voor een optimale teelt. Kokosnoten telen in Nederland lukt niet, omdat kokospalmen onze temperaturen niet overleven. Zwarte klei is niet geschikt voor wortelgewassen, omdat de weerstand van de grond leidt tot vertakte in plaats van mooie rechte wortels. En aardappels telen zonder bestrijdingsmiddelen, zoals gebeurt in de biologische landbouw, is een onzekere onderneming in een regio waar veel aardappels worden geteeld, vanwege de grote kans op overwaaiende plantenpathogenen. De keuze van teeltlocatie en gewassoort bepaalt de inspanning die een boer moet leveren om een goed product te krijgen: de inzet van arbeid, machines, brandstof, meststoffen en bestrijdingsmiddelen.

In de geïndustrialiseerde wereld heeft zich na de Tweede Wereldoorlog een vorm van landbouw ontwikkeld die vooral vertrouwt op het tactisch bijsturen door inzet van arbeid, kapitaal en energie. Deze landbouw richt zich veel minder op strategische keuzes: het voorkómen van problemen door het optimaal benutten van natuurlijke processen en omstandigheden. De afhankelijkheid van middelen als kunstmest en chemische bestrijdingsmiddelen van buiten de boerderij maakt de gangbare landbouw vergelijkbaar met een industrieel proces waarbij inputs worden omgezet in outputs, met de bodem als substraat. Het is inmiddels duidelijk dat dit model wereldwijd leidt tot een grote achteruitgang van bodemkwaliteit – meer dan een kwart van de bodems is sterk gedegradeerd –, stikstof- en fosfaatoverschotten, een flinke bijdrage aan de uitstoot van broeikasgassen en een achteruitgang van biodiversiteit, leidend tot minder bestuivers en natuurlijke vijanden. Dat deze manier van landbouw bedrijven niet langer houdbaar is, blijkt uit wetenschappelijke rapportages en vindt in toenemende mate weerklank in internationale beleidsnota's en in die van het Nederlandse ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit. Alternatieve modellen voor voedselproductie maken veel sterker gebruik van strategische keuzes, met cultuurmaatregelen als uitgangspunt.

'Good guys' en 'bad guys'

Cultuurmaatregelen omvatten alle teeltmaatregelen die tot doel hebben de weerstand van planten tegen ziekten en plagen te verhogen. Een belangrijke teeltmaatregel is gewasrotatie of vruchtwisseling: de afwisseling van verschillende soorten gewassen op een perceel in de loop van de tijd. Verschillende plantensoorten stellen verschillende eisen aan hun omgeving en leveren verschillende bijdragen. Door eisen en bijdragen in de tijd op elkaar af te stemmen, draagt de boer bij aan een omgeving die gunstig is voor gewasgroei.

Er zijn verschillende redenen om gewasrotatie toe te passen. Het versterkt het hergebruik van voedingsstoffen, het verbetert de bodemstructuur door afwisseling in bewortelingsdiepte – uien wortelen oppervlakkiger dan granen – en het draagt bij aan het onderdrukken van ziekten en plagen. Ecologisch slimme afwisseling van gewassen in de tijd onderbreekt de opbouw van plantenbelagers die zich uitbreiden door zich met specifieke gewassen te voeden en mobiliseert micro-organismen in de bodem die leven van plantenbelagers. Hierdoor ontstaan evenwichten tussen 'good guys' en 'bad guys' waar de boer wel bij vaart.

Mengteelten

Afwisseling van soorten gewassen in de ruimte – een boer teelt ieder jaar elk gewas uit de rotatie op andere percelen – kan ziekten en plagen ook onderdrukken, doordat het biodiversiteit in de bodem en op de planten stimuleert. Ook de omvang van de percelen speelt daarbij een rol. Kortgeleden is ontdekt dat in landschappen met kleinere percelen de biodiversiteit groter is dan in landschappen met grote percelen. Mengteelten waarbij verschillende gewassen of verschillende rassen van eenzelfde gewas door elkaar worden gezaaid of geplant, hebben minder last van ziekten en plagen. Zo brengen mengsels van erwten en tarwe tot 20 procent meer op: ze delen de voedingsstoffen in de bodem en plantenpathogenen kunnen zich minder makkelijk verspreiden. Het is een soort 'social distancing' in de akkerbouw. In tarwe, aardappels en rijst is gevonden dat percelen met mengteelt van rassen die verschillen in hun arsenaal aan resistentiegenen, een lagere ziektedruk kennen dan percelen waar slechts één ras geteeld wordt. Mengsels kunnen ook worden gebruikt als ecologische vallen: rupsen die koolplanten aantasten, vinden sommige rassen aantrekkelijker dan andere. Door het planten van een paar aantrekkelijke exemplaren wordt de rest beschermd.



Mengteelt van pindaplant *Arachis hypogaea* en wonderboom *Moringa oleifera* die zowel eetbare vruchten als medicijnen levert.

Het slim inzetten van cultuurmaatregelen om gezond voedsel te produceren met een minimum aan externe middelen staat centraal in de biologische landbouw. In het rijke deel van de wereld is in de wet vastgelegd aan welke criteria biologische landbouw moet voldoen om producten met het oormerk 'biologisch' te kunnen verkopen. Zo is het gebruik van synthetische bestrijdingsmiddelen en kunstmest verboden. Om toch rendement te hebben zoekt de biologische landbouw voortdurend naar nieuwe strategieën op basis van natuurlijke processen. Een succesvolle aanpak is, zoals gezegd, het creëren van diversiteit bij de teelt van gewassen. Daarnaast staat het combineren van bomen en eenjarige gewassen, agroforestry of boslandbouw genaamd, de laatste jaren in de belangstelling. Hierbij hebben de bomen diverse gunstige effecten op de gewassen: ze bieden schaduw, bescherming tegen wind en schuilplaatsen aan organismen die ziekten en plagen in de gewassen onderdrukken.

Strokenteelt

Een andere bron van inspiratie, ook genoemd in de recente visie van de minister van landbouw, is strokenteelt. Daarbij worden twee of meer soorten planten geteeld in afwisselende stroken die zo breed zijn dat de boer uit de voeten kan met de huidige landbouwmachines, maar smal genoeg om te profiteren van de biologische effecten van ruimtelijke diversiteit. Strokenteelt is in het buitenland al langer in zwang, mede om erosie te voorkomen. Ook in Nederland blijken er gunstige effecten, bijvoorbeeld door grotere biodiversiteit en lagere ziektedruk dan in percelen met maar één gewas. Dit kan bijvoorbeeld in de biologische aardappelteelt tot 50 ton per hectare opleveren, een opbrengstverhoging van 25 procent. Bovendien leidt strokenteelt tot meer akkervogels en hebben boeren die ermee experimenteren naar eigen zeggen meer plezier en voldoening van hun werk.

Er valt nog veel te ontdekken over wat gunstige buurgewassen zijn, hoe breed stroken moeten zijn en hoeveel diversiteit voldoende is. Inspiratiebron is daarbij de natuur, waar individuele soorten in kleinere en grotere groepen door elkaar groeien. Zou een dergelijk ontwerp van landbouwsystemen een optie zijn bij voortgaande robotisering en verkleining van de huidige grote machines? Vast staat dat waar cultuurmaatregelen veertig jaar geleden als een bijzaak in de leerboekjes over plantenziekten stonden, ze nu een prominente plek hebben in het ontwerpen van teeltsystemen, waarbij de boer gebruik maakt van natuurlijke processen voor de productie van voedsel en voer.

Echt of vals?

■ IR. DORIET WILLEMEN



Druivenblad
aangetast door
valse meeldauw
Plasmopara viticola.

Meeldauw: iedereen heeft het wel eens gezien, het witte schimmelpluis op bladeren van eik of roos. Meeldauw is de algemene naam voor een enorme groep ziekten die wit schimmelpluis op planten veroorzaken. Het komt wereldwijd voor op de meest uiteenlopende plantensoorten. De ziekteverwekker wordt meestal genoemd naar de plantensoort die hij aantast: appelmeeldauw, rozenmeeldauw, graanmeeldauw, enzovoort. Bijna iedere plantensoort heeft zijn eigen meeldauwschimmel, die zich voedt met stoffen die hij uit de plantencellen zuigt. Doordat het schimmelpluis de

bladeren bedekt, kan de plant minder zonlicht opvangen en groeit langzamer. Bij appel zorgt de meeldauwschimmel *Podosphaera leucotricha* voor aantasting van scheuten en knoppen, waardoor vruchten met misvormingen en een ruwe schil ontstaan. In de graanteelt kan het opbrengstverlies door de meeldauwschimmel *Erysiphe graminis* oplopen tot 25 procent.

Bovenstaande ziekten zijn allemaal voorbeelden van echte meeldauw, waarbij het witte schimmelpluis over de bovenkant van het blad groeit. Daarnaast bestaat er ook een grote

groep van valse-meeldauwziekten, met het pluis vaak aan de onderkant van het blad. De schimmeldraden groeien dan tussen de bladcellen. Valse-meeldauwziekten worden veroorzaakt door waterschimmels (oömyceten). Berucht is de valse meeldauw *Plasmopara viticola*, die het op druiven voorzien heeft. Eind 19^e eeuw werd ontdekt dat bespuiting met een mengsel van kopersulfaat en kalk helpt, ook tegen andere schimmelziekten. Deze zogeheten Bordeauxse pap was tot aan de Tweede Wereldoorlog het belangrijkste chemische bestrijdingsmiddel.

In de Nederlandse (kas)tuinbouw is valse meeldauw een geveesde ziekte. Een besmetting met *Bremia lactucae* bij sla of met *Peronospora farinosa* bij spinazie heeft desastreuze gevolgen voor de productie van deze bladgroenten. Er wordt naarstig gezocht naar sla- en spinaziesoorten die resistent zijn tegen meeldauw. Een groot probleem is dat valse meeldauw regelmatig nieuwe varianten ontwikkelt die de afweer van een resistente plant toch weer doorbreken. In 2018 is een groot onderzoeksproject gestart om daar meer inzicht in te krijgen, en om nieuwe resistenties op te sporen voor ontwikkeling van meeldauwresistente sla- en spinazierassen.

Belagers blokkeren met resistentiegenen

■ DR. IR. JAN-KEES GOUD

HET DOEL van plantenveredeling is het verbeteren van de genetische eigenschappen van planten. Dat gebeurt door het selecteren en kruisen van geschikte ouderplanten, in de hoop tussen de nakomelingen een exemplaar te vinden dat de beste eigenschappen van de ouders combineert. Alle gezamenlijke kenmerken van een plant, het zogenaamde fenotype, worden bepaald door de genen van de plant – het genotype – en de invloed van de omgeving.

Sommige eigenschappen worden nauwelijks beïnvloed door de omgeving, zoals bloemkleur. Dat zijn kwalitatieve eigenschappen, gereguleerd door slechts één of enkele genen. Ze zijn vaak goed waar te nemen aan één enkele plant. Andere eigenschappen worden juist heel sterk beïnvloed door de omgeving, zoals kiemsnelheid, groei of opbrengst. Zulke kwantitatieve eigenschappen worden meestal bepaald door een groot aantal genen, elk met een klein effect. Om voor zulke eigenschappen de beste planten te kiezen zijn meerdere genetisch identieke planten vereist én de omgeving moet zo veel mogelijk gelijk blijven.

Afweer tegen plantenbelagers

Planten zijn interessante voedselbronnen voor een breed scala aan plantenbelagers. Toch lijken de meeste planten hier niet onder te lijden. Dat komt doordat ze in de loop van de evolutie barrières hebben gevormd: een dikkere waslaag op het blad, de productie van stoffen die de belagers vergiftigen of remmen, of de activatie van een overgevoeligheidsreactie, waardoor een belager niet kan binnendringen. Al deze verdedigingsmechanismen hebben een genetische basis. Er kan dus op veredeld worden. Maar ook de belager kan zich genetisch

aanpassen en door mutaties de verdedigingslijnes omzeilen. Zo ontstaat er een wapenwedloop tussen belager en veredelaar.

De overgevoeligheidsreactie is een zeer effectieve en doorgaans volledige vorm van resistentie, vooral tegen belagers die gespecialiseerd zijn op één plantensoort. De reactie wordt opgewekt zodra de plant de belager herkent. Om planten te infecteren maken gespecialiseerde belagers gebruik van een arsenaal aan stoffen, zogenaamde effectoren, die ze in de plant brengen om zijn natuurlijke afweer te onderdrukken. Wanneer een plant toevallig één van die effectoren herkent, reageert hij door de geïnfecteerde plantencellen zo snel mogelijk te laten afsterven. De plant kan die paar cellen makkelijk missen en de ziekteverwekker gaat dood. Voor herkenning van effectoren heeft de plant zogenaamde immunoreceptoren: eiwitten die in de celmembranen zitten of in de cel, en die bij alarm de afweerreactie in gang zetten. De genen die coderen voor de immunoreceptoren heten resistentiegenen. Ze werken meestal specifiek tegen één ziekteverwekker.

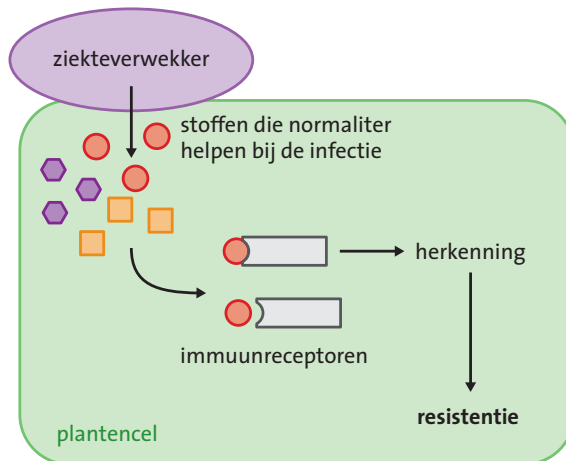
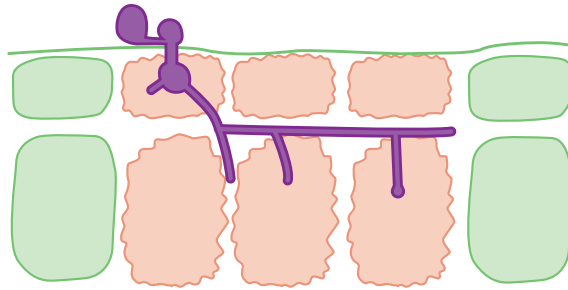
Wapenwedloop

De immunoreactie wordt dus in gang gezet op basis van specifieke effectoren. Als er een variant van de belager opduikt die zijn effector iets gewijzigd of helemaal vervangen heeft, dan blijft de reactie uit en is de resistentie doorbroken. Planten op hun beurt kunnen hun arsenaal aan immunoreceptoren aanpassen, zodat ze de aangepaste of nieuwe effector herkennen en zo toch weer resistent worden. Die nieuwe resistentiegenen kunnen ook weer doorbroken worden, en zo gaat de wapenwedloop door.

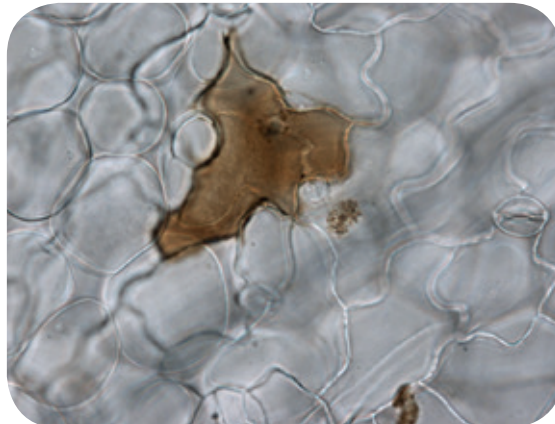
Het doorbreken van resistentie kan snel gaan. Micro-organismen passen zich gemakkelijk aan, doordat ze zich heel rap reproduceren en DNA-mutaties vaak snel tolereren. Door selectiedruk zal juist die ene mutant, die wel kan infecteren, snel de hele populatie gaan domineren. In planten

Nieuwe resistentiegenen kunnen ook weer doorbroken worden

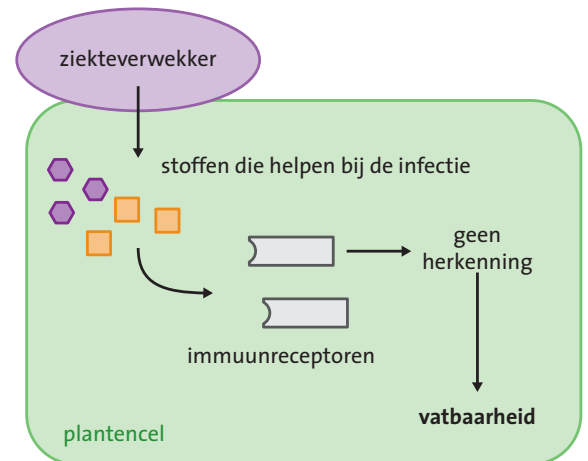
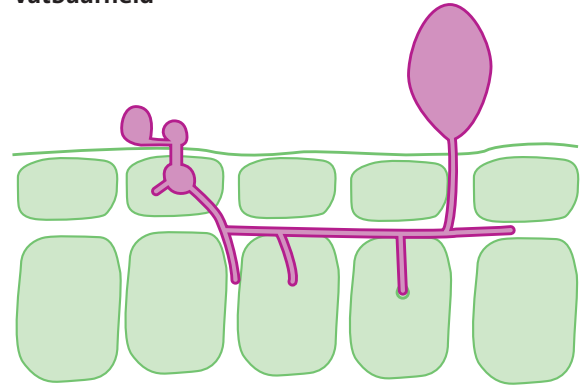
Resistentie



Links: De ziekteverwekker produceert stoffen die helpen om de plant binnen te dringen. De immuunreceptoren in de plant nemen die waar en zetten een afweerreactie in gang. De cellen met ziekteverwekker sterven af. De plant is resistent.



Vatbaarheid



Rechts: Als de ziekteverwekker is gemuteerd, herkent de plant de stoffen van de indringer niet meer en wordt vatbaar. De ziekteverwekker groeit verder en vormt sporen.



daarentegen verloopt die aanpassing veel minder vlot en vindt – zonder menselijk ingrijpen – alleen plaats in een natuurlijke setting waar wilde plantensoorten co-evolueren met hun gespecialiseerde belagers. Daarom zijn voor plantenveredelaars de wilde verwanten van cultuurgewassen ware schatkamers, want die bezitten vaak de gewenste resistentiegenen. Vanwege het alles-of-niets-karakter van de overgevoeligheidsreactie is de kans dat de plantenbelager de resistentie doorbreekt groter naarmate een resistent gewas over een groter areaal wordt geteeld. Een oplossing hiervoor is het ‘stapelen’ van resistentiegenen, bijvoorbeeld door in een ras drie resistentiegenen tegelijk in te brengen. De kans dat de belager zijn DNA op drie punten tegelijk op precies de juiste manier weet te muteren, is namelijk zeer klein.

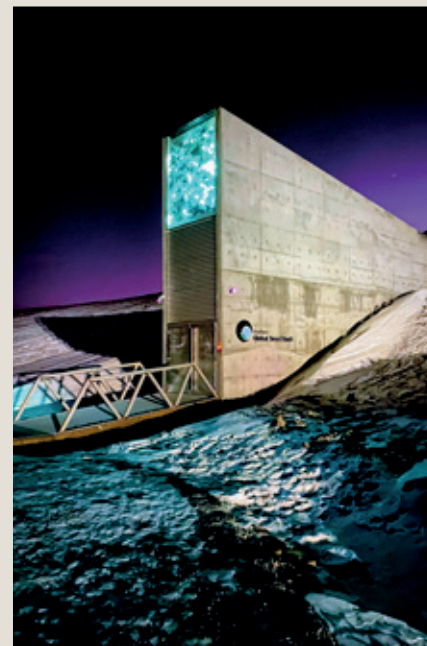
Naast resistentie op basis van de overgevoeligheidsreactie, meestal bepaald door één gen, bestaan er ook resistentiemechanismen die afhankelijk zijn van de activiteit van meerdere genen. Deze zogenoemde kwantitatieve resistentie is werkzaam tegen alle stammen van de ziekteverwekker. Elk gen afzonderlijk heeft maar een klein effect, maar bij een optimale afstemming vormen ze tezamen een flinke barrière. Die geeft vaak geen volledige resistentie, maar het ziekteproces verloopt wel trager. Tegelijk is er minder risico dat de resistentie doorbroken wordt dan wanneer die gebaseerd is op de overgevoeligheidsreactie.

De klassieke veredeling

Door de eeuwen heen heeft de mens nuttige planten genetisch verbeterd door opeenvolgende kruisingen, gevolgd door selectie van de beste planten, zonder de principes van erfelijkheid te kennen. Tegenwoordig weten we dat het genoom, opgebouwd uit DNA, de blauwdruk vormt van een organisme, en dat alle cellulaire en biochemische processen worden aangestuurd door genen – stukken DNA die coderen voor eiwitten.

Behoud biodiversiteit in het veld en de genenbank

Resistentiegenen komen veelvuldig voor in oude rassen en wilde verwanten van onze gewassen. Het is van groot belang om deze plantenbiodiversiteit te bewaren. Eén manier is bescherming van het gebied waar wilde verwanten voorkomen. Het alternatief is om zaden van oude rassen en wilde soorten te verzamelen en op te slaan in genenbanken. De gegevens worden gedeeld in een publieke database, zodat onderzoekers en veredelaars de zaden kunnen opvragen. De Nederlandse genenbank, het Centrum voor Genetische Bronnen, is op plantaardig gebied gespecialiseerd in groentezaden. Een kopie van de zaadcollectie kan als back-up veilig worden gesteld in een andere genenbank, zoals de *Global Seed Vault* ('wereldzadenkluis') op Spitsbergen. Die herbergt de belangrijkste zaden van alle genenbanken in de wereld.



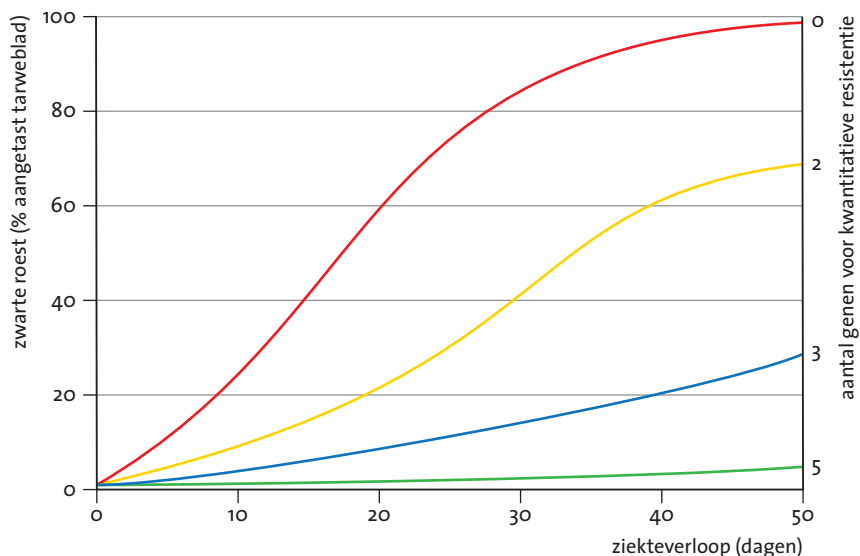
In de klassieke veredeling kruisen plantenveredelaars planten met goede eigenschappen met elkaar. Kruisen heeft vooral zin wanneer de twee ouderplanten elkaars eigenschappen aanvullen, bijvoorbeeld wat betreft opbrengst, smaak, kwaliteit of ziekteresistentie. In veel gewassen volgt na de eerste kruising een zelfbevruchting van de nakomelingen. In de volgende generatie zie je dan allerlei nieuwe combinaties van eigenschappen. Door in elke volgende generatie geselecteerde planten zichzelf te laten bevruchten, verkrijgt de veredelaar een zuivere lijn. Bij de juiste selectie is die dan resistent tegen meerdere soorten belagers.

Plantenveredelaars zoeken regelmatig naar nieuwe resistenties, vaak in wilde verwanten in het oorsprongsgebied van het gewas of in

genenbanken (zie kader). Ze kruisen dan deze wilde plant met een modern ras dat een goede opbrengst en kwaliteit heeft. Het selecteren van resistentie moet zorgvuldig gebeuren. In elke stap moet de veredelaar controleren welke planten vatbaar zijn en welke niet, en voorkomen dat er per ongeluk doorgekruist wordt met een vatbare plant die toevallig aan de plantenbelager ontsnapt is. Het is dus zaak om te zorgen dat alle planten blootgesteld worden aan de belager en dat de omstandigheden zodanig zijn dat de ziekte zich optimaal kan ontwikkelen.

Het samenbrengen in een plant van een groot aantal genen voor kwantitatieve resistentie – het opbouwen van een flinke barrière – kan worden bereikt door herhaaldelijk kriskras te kruisen en dan steeds de meest vatbare planten te verwijderen. Over een aantal generaties accumuleren dan de genen die ieder voor zich een klein effect hebben, met als resultaat vaak een verbazend goede totale resistentie die niet snel zal worden doorbroken.

Hoe meer resistentiegenen in de tarwe aanwezig zijn, hoe minder tarwe is aangetast door de schimmelziekte zwarte roest.



Kiezen uit de rassenlijst

De plantenveredeling maakt genetisch verbeterde rassen die de boer of tuinder kan gebruiken. In rassenlijsten staat per ras beschreven wat de eigenschappen zijn en wat het resistentieniveau is tegen belangrijke ziekten en plagen. Zo kan de teler de rassen kiezen die geschikt zijn voor zijn perceel en voldoen aan de wensen van afnemer of consument. Rassen met weerstand tegen ziekten en plagen hebben het belangrijke voordeel dat er minder (of geen) ziektebestrijding nodig is.

Snellere selectie

Tegenwoordig wordt er veel gebruik gemaakt van merkergeïstuurde veredeling. Merkers zijn variaties in het DNA die toevallig gekoppeld zijn aan een gen. Door planten met de juiste combinatie van merkers te selecteren, selecteert men indirect op resistentie. Dat is vooral nuttig ter vervanging van bijvoorbeeld bewerkelijke ziekte-toetsen of bij kwantitatieve resistentie, omdat de resistentie dan al kan worden voorspeld op basis van één kiempunt in plaats van meerdere genetisch identieke planten. In de toekomst zullen we steeds meer te weten komen over het genoom van planten en over de patronen in de DNA-code van resistentiegenen. Dan kunnen we daar rechtstreeks op selecteren.

Zaad met een jasje

■ REDACTIE

DE PRODUCTIE van uitgangsmateriaal is essentieel voor de landbouw: om tarwe, koolzaad of vlas te telen, heb je zaad nodig en voor aardappels poters. Dat uitgangsmateriaal moet van de beste kwaliteit zijn, en dat is minder makkelijk dan het klinkt: ziekteveroorzakende schimmels, bacteriën en virussen kunnen zich in het zaad en pootgoed schuilhouden en planten snel ziek maken. Ook bij het bewaren van uitgangsmateriaal kan er van alles misgaan. Om deze bedreigingen het hoofd te bieden zijn er diverse methodes ontwikkeld om zaaizaad en pootgoed te verbeteren, zoals:

- selectiemethoden om uitgangsmateriaal op te schonen: bijvoorbeeld het verwijderen van onkruidzaden, maar vooral ook het verwijderen van zaad en pootgoed van slechte kwaliteit. Hiervoor worden tegenwoordig geavanceerde röntgentechnieken gebruikt.

- primen: het zodanig voorbehandelen van zaad dat de zaden gelijktijdig kiemen. Dat maakt het gewas geschikter voor toepassing van precisie-landbouwtechnieken.
- coaten: het omhullen van zaad met chemische of biologische gewasbeschermings- of groei-stimuleringsmiddelen. Sommige coatings zijn bedoeld om vraat te voorkomen. Ze krijgen een onnatuurlijk kleurtje zodat vogels het zaad niet herkennen.
- pilleren: het omhullen van zaad, zodat het zich beter of makkelijker en daardoor uniformer laat uitzaaien. Zaaimachines kunnen alleen gepilleerd zaad aan.

Zaden krijgen vaak een kleurtje zodat vogels ze niet herkennen.



Plantenziekten: soms mooi en nuttig

■ IR. DORIET WILLEMEN



Semper Augustus, de gevlamde tulp, was in de 17e eeuw een fortuin waard. Destijds was nog niet bekend dat een plantenvirus dit patroon veroorzaakte.

Plantenziekten zijn niet alleen maar schadelijk, ze kunnen ook mooi en zelfs nuttig zijn. Opvallende groei-afwijkingen en bijzondere vrucht- of bladverkleuringen

die op de planten ontstaan, zijn vaak verbazingwekkend. Neem de gevlamde tulpen ten tijde van de tulpenmanie in de 17^e eeuw. De bollen daarvan waren korte tijd een

fortuin waard: een compleet jaarsalaris of zelfs de prijs van een Amsterdams grachtenpand. Destijds was nog niet bekend dat een plantenvirus dit typische patroon op de bloemen veroorzaakte. Tegenwoordig wordt in de sierteelt bij kerststerren bewust een ziekteverwekker ingebracht om het uiterlijk te verfraaien. Het gaat hier om een fytoplasma, een bacterie zonder celwand. Dit micro-organisme verstoort de hormoonhuishouding van de plant, die daardoor sterk gaat vertakken. Zo blijven de planten compacter en bloeien ze voller. Het is een perfect voorbeeld van hoe een ziekteverwekker ingezet wordt voor economisch voordeel.

Er zijn meer gevallen waarbij de mens handig gebruik maakt van ziekteverwekkers. In de tomatenteelt worden jonge plantjes met opzet besmet met een zwakke variant van het pepinomozaïekvirus (PepMV) om ze te beschermen tegen de meer agressieve variant van het virus. Dit heet kruisbescherming en is min of meer vergelijkbaar met vaccinatie bij mensen.

En schimmels die een last zijn voor de boer, zijn soms een genot voor de fijnproever. Zo leveren druiven die aangetast zijn door de

schimmel *Botrytis cinerea* een exclusieve wijn op. En in Mexico is er de delicatess *huitlacoche*: maiskolven geïnfecteerd met de brand-schimmel *Ustilago maydis*. De maretak of *mistletoe* heeft een romantisch imago, maar is eigenlijk een ordinaire boomparasiet. Deze groenblijvende plant *Viscum album*, ook wel vogellijm genoemd vanwege de verspreidingswijze, wordt tegenwoordig op appelbomen gekweekt voor de verkoop als kerstversiering. Wanneer een plakkerige bes van de maretak op een boomtak landt, kan het zaadje zich in de bast nestelen en daar uitgroeien tot een plantje. Maretak vormt zelf geen wortels, maar infecteert zijn gastheer en tapt de sapstroom af.

Apps met boerenverstand

■ REDACTIE

DE OPMARS van robots, kunstmatige intelligentie en *big data* is niet meer te stuiten, ook niet in de land- en tuinbouw. Plukrobots die paprika's en tomaten oogsten, sparen arbeidskosten uit. Zelfsturende hightech spuitmachines verlagen het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de fruitteelt. En drones met gevoelige camera's helpen bij vroegtijdige detectie van ziektes in het veld. Als de boer plant, zaait, mest of spuit, vertrouwt hij steeds meer op de besturingssystemen in de cabine van zijn trekker in plaats van op zijn boerenverstand.

Precisielandbouw is gebaseerd op *big data* die de boeren niet zelf kunnen hanteren. Ze worden geholpen door Akkerweb, een platform dat allerlei informatie verzamelt en integreert. Zo zijn alle landbouwpercelen op basis van satellietbeelden in kaart gebracht. Ook worden alle meteorologische data en perceelgebonden gegevens in het systeem opgeslagen, waaronder de gewassen die

Met apps kan de moderne boer precisielandbouw toepassen. Als de boer plant, zaait, mest of spuit, vertrouwt hij steeds meer op de besturingssystemen in de cabine van zijn trekker.



er ieder jaar geteeld worden, de opbrengsten en de toegediende bemesting. Boeren gebruiken deze informatie om hun bedrijfsstrategie te bepalen. Op Akkerweb zijn verschillende apps te vinden die ziektes en oogstverliezen helpen voorkomen. Enkele voorbeelden.

De aardappelziekte, veroorzaakt door *Phytophthora infestans*, kan een vatbaar gewas onder vochtige omstandigheden binnen twee weken volledig vernietigen, zo snel verloopt de epidemie. Preventief bestrijden met gewasbeschermingsmiddelen is essentieel, maar alleen nodig als de weersomstandigheden bevorderlijk zijn voor infectie. De *fytoftora*-app adviseert of en wanneer er gespoten moet worden en met welk middel. Dat kan best ingewikkeld zijn, want als het regent, zijn de middelen veel minder effectief.

De app NemaDecide is gericht op aaltjes. Hij adviseert niet alleen welke gewassen te telen bij bepaalde aaltjesbesmettingen, maar ook welke rassen het meest geschikt zijn. De app rekent uit hoe de aaltjesbesmetting in het perceel, en daarmee de schade, er over een paar jaar voor staat, waarbij de boer kan kiezen uit een aantal opties. Hiermee kan hij zelf bepalen wat de beste strategie is.

Er zijn diverse waarschuwingdiensten op basis van nauwkeurige, lokale weersvoorspellingen. Voor fruitteelers onmisbaar, want vorst in het voorjaar is een bedreiging voor de oogst. Beregenen van de bomen tot de vorst voorbij is, helpt. Deze diensten zijn letterlijk waarschuwingen: ze kunnen de boer midden in de nacht wekken!

Gezond gras

■ DR. IRENE VROEGOP

NET ALS gewassen is ook gras vatbaar voor ziektes. De meest gebruikte grassoorten in voetbalstadions zijn Engels raaigras en veldbeemdgras. Op golfbanen worden verschillende grassoorten gebruikt, zoals roodzwenkgras, veldbeemdgras, Engels raaigras en struisgras. Engels raaigras is een soort die gevoelig is voor diverse plantenbelagers, zoals bladvlekkenziekte, roest, sneeuwschimmel en voetrot. Deze schimmelziektes ontstaan het snelst als de plant gestrest is door bijvoorbeeld een lage luchtvochtigheid, een hoge temperatuur of een gebrek aan voedingsstoffen. Beschadiging van de grasmat door sporters kan de kans op schimmelinfectie verhogen.

Schade door ziektes is een probleem waar elke terreinbeheerder een oplossing voor probeert te vinden. Het gebruik van resistente grassoorten is voor sportvelden en golfbanen vaak geen oplossing omdat de huidige grassoorten gekozen zijn op herstellervermogen en maaihoogte. De afgelopen jaren is het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen in Europa aan banden gelegd. Volgens de richtlijn duurzaam gebruik van bestrijdingsmiddelen moet het gebruik ervan worden geminimaliseerd of verboden in gebieden die door een breed publiek of door kwetsbare groepen worden gebruikt. Deze verplichting is dus ook van toepassing op sportvelden en golfbanen. In de Green Deal Sportvelden hebben de betrokken partijen afgesproken dat er vanaf 2020 geen chemische gewasbeschermingsmiddelen meer worden gebruikt op sportvelden en golfbanen, behalve in situaties waarin dat strikt

noodzakelijk is. Beheerders moeten ziektes in hun gras dus op een andere manier bestrijden. Preventieve maatregelen en het monitoren van diverse factoren die invloed hebben op de ziektes, spelen hierin een belangrijke rol.

Continu monitoren

Door continu de omstandigheden op het veld te monitoren, zoals de hoeveelheid licht, de luchtvochtigheid, de temperatuur en de natheid van het gras, kan er op tijd gehandeld worden. Beheer-




ders kunnen bijvoorbeeld beter kleine hoeveelheden water geven in plaats van in één keer grote hoeveelheden. Het gras droogt dan sneller op, waardoor schimmels minder kans hebben. Ze kunnen ook letten op de voedingsstoffen: ziektes hebben meer kans als er van bepaalde voedingsstoffen te veel of juist te weinig aanwezig is. Beheerders kunnen de zuurgraad van de bodem in de gaten houden en na het maaien de grasresten verwijderen, waardoor schimmels minder kans hebben.



Verder is het belangrijk om de messen van de maaimachine scherp te houden, zodat de schade aan het gras beperkt blijft. Daarnaast zijn ook luchtvochtigheid en temperatuur van grote invloed op de ziektedruk, maar deze factoren zijn op een golfbaan of in een stadion moeilijker te beheersen. Wel zijn er speciale ventilatoren ontwikkeld, die met een geavanceerd luchtcirculatie- en -koelingsysteem de omstandigheden voor het gras kunnen verbeteren. Ook zijn er modellen die de druk van verschillende grasziektes voorspellen op basis van de temperatuur en de luchtvochtigheid. Speciale machines kunnen de opkomende schimmels dan op tijd vernietigen met ultraviolet licht. Ook het volgen en registreren van de kwaliteit van het veld, de neerslag, en het gebruik van nutriënten en chemicaliën is van belang voor een goed beheer.

Het AFAS-stadion in Alkmaar heeft met behulp van de bovengenoemde hulpmiddelen het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen al kunnen beëindigen. Maar nog lang niet alle sportvelden en golfbanen zijn zo ver.

Beschadiging van de grasmat door sporters kan de kans op schimmelinfectie verhogen.



Ziekteverwekkers breken soms door de barricades heen. Dan rest niets anders dan bestrijding. Steeds vaker op biologische basis: natuurlijke vijanden en groene chemie.

3

Wat als de ziekte toeslaat?

Als alles gericht is op preventie, waarom zijn er dan nog steeds plantenziekten? Helaas is resistentie tegen lang niet alle plantenbelagers beschikbaar. En soms kan een plantenbelager dankzij genetische mutatie de resistentie omzeilen. Wat dan resteert is een directe vorm van bestrijding, biologisch dan wel chemisch. De discussie of we zonder chemische bestrijding kunnen, wordt momenteel volop gevoerd; de overheid wil er in ieder geval binnen tien jaar afscheid van nemen. De suikerbiet kunnen we dan kwijtraken, gezien de grote druk van allerlei ziekten en plagen. Aardappelteelt blijft wel mogelijk, maar de opbrengsten zullen sterk achteruitgaan. Biologische bestrijding zou een alternatief kunnen zijn, maar zijn er wel voldoende goedwerkende 'groene middelen' beschikbaar?

Gewassen beschermen met chemie

■ IR. ASTRID SMIT

GEWASBESCHERMING IS in de loop der jaren steeds verfijnder en specifiekler geworden. De laatste jaren wordt ze ook groener. In de kassen is die ontwikkeling al vroeg ingezet, in de teelten buiten komt het nu ook op gang. De overheid ziet in 2030 graag een landbouw zonder synthetische gewasbeschermingsmiddelen. Maar kan dat?

Voor ons is het doodnormaal: goed gevulde schappen bij de groenteboer of supermarkt met verse paprika's, pompoenen, sperziebonen, witlof, boerenkool, asperges, appels en peren. Alles ziet er even fris en fruitig uit: geen rotte plekken, geen schimmel. En nooit staat er een bordje: 'Sorry, vandaag geen druiven. Meeldauw heeft de oogst verwoest.' Dat komt doordat we gebruik maken van een wereldwijde markt. Als het ene bedrijf niet kan leveren, kan het andere bedrijf dat wel. Die grote productie en constante levering van groente en fruit is daarnaast ook mogelijk door het hoge niveau van de landbouwkennis, zeker in Europa.



Akkerbouwer Gerard Breunissen gebruikt een nieuw spuitsysteem. Het plexiglas voorkomt dat de wind vat heeft op de chemische middelen. De nevel belandt direct op het gewas en niet meer in de sloot of berm naast de akker.

Boeren en tuinders weten veel ziekten en plagen goed onder de duim te houden. Daarbij maken de niet-biologische telers dankbaar gebruik van synthetische bestrijdingsmiddelen. In Nederland is in 2018 voor 9,4 miljoen kilo aan gewasbeschermingsmiddelen verkocht: iets minder dan de helft voor het bestrijden van schimmels en bacteriën, een derde voor het bestrijden van onkruid en een paar procent voor het doden van insecten. In Europa gaat het jaarlijks om 380 miljoen kilo. Frankrijk, Spanje, Duitsland en Italië zijn daarbij de grootste afnemers.

Wie veel planten van dezelfde soort bij elkaar zet, zoals de landbouw doet, trekt ook belagers van die planten aan. Als je die niet wil laten mee-eten en wil voorkomen dat ze schade aanrichten aan de oogst, moet je dus ingrijpen. Sinds het ontstaan van de landbouw, zo'n 12.000 jaar geleden, probeert de mens die belagers dan ook te bestrijden. Zo strooiden de Chinezen 3.000 jaar geleden al kalk en hout-as over de geoogste producten om ziekteverwekkers te bestrijden, gebruikten de Romeinen zwavel en bitumen om bladrollers (rupsen) in

wijngaarden te doden en spotten boeren een paar eeuwen geleden nicotine uit tabak of pyrethrinen uit de chrysanthe om luizen en andere zuigende insecten uit de gewassen te houden.

Bordeauxse pap

‘Maar de chemische plantenziektenbestrijding begint pas eind negentiende eeuw’, zegt Jolanda Wijsmuller, werkzaam bij Bayer Crop Science. Toen werd namelijk per toeval ontdekt dat Bordeauxse pap – een mengsel van koperzouten en kalk – een uitstekend middel is om druiven te beschermen tegen meeldauw. Later bleek deze ‘pap’ ook de aardappelziekte heel effectief te bestrijden. ‘Vanaf dat moment richt de chemische industrie, vooral in Duitsland, zich op de ontwikkeling van tal van breedwerkende synthetische stoffen tegen ziekten en plagen in gewassen.’

Zo kwamen er vanaf 1910 diverse kwikverbindingen op de markt waarmee boeren konden voorkomen dat bijvoorbeeld zaden van tarwe, gerst, rogge en andere granen werden besmet met schimmels. Vanaf 1930 werden nieuwe fungiciden ontdekt: dithiocarbamaten en captanverbindingen. Ook die bleken uiterst effectief om sporen van schimmels in de kiem te smoren, zoals schurft in appels en peren, en valse meeldauw in uien. ‘Deze middelen worden tot op de dag van vandaag gebruikt’, zegt Wijsmuller. ‘Het lukt schimmels namelijk nauwelijks om resistentie op te bouwen, omdat de middelen zo breed werken. Ze pakken de schimmels op meerdere basale punten aan.’

Breedwerkende middelen

Ook bij de bestrijding van onkruid deden de breedwerkende middelen voor en na de Tweede Wereldoorlog hun intrede: 2-4-D (2,4-dichloorfenoxy-azijnzuur) en MCPA (2-methyl-4-chloorfenoxy-azijnzuur) kwamen op de markt. Ze stimuleren de plantengroei, waardoor het ongewenste kruid doorschiet en het loodje legt. De komst van

deze stoffen zorgde ervoor dat boeren minder of zelfs niet meer hoefden te schoffelen, wat een enorme arbeidsbesparing betekende. Begin jaren zeventig zijn er producten op basis van glyfosaat en glufosinaat geïntroduceerd. Die vernietigen de bovengrondse groene delen van een plant; glyfosaat dringt zelfs tot in de wortels door. Uit die tijd stammen ook de eerste bodemherbiciden die voorkómen dat onkruiden gaan kiemen. Tot op de dag van vandaag gebruiken boeren 2,4-D, MCPA, glyfosaat en diverse bodemherbiciden om van hun onkruid af te komen.

Om van plaaginsecten af te raken, ontwikkelde de chemische industrie voor en na de oorlog breedwerkende insecticiden, zoals de gechloreerde koolwaterstoffen. Eén daarvan was DDT, maar dat bleek zo schadelijk voor het milieu – het werd nauwelijks afgebroken – dat het begin jaren 70 werd verboden. Pyrethroïden (de synthetische variant van de pyrethrinen), carbamaten en fosforesters namen de markt over en sinds de jaren 90 ook

de neonicotinoïden. Deze laatste stoffen heeft de Europese Unie nu echter deels verboden, omdat ze in verband worden gebracht met de bijensterfte.

Specifieke middelen

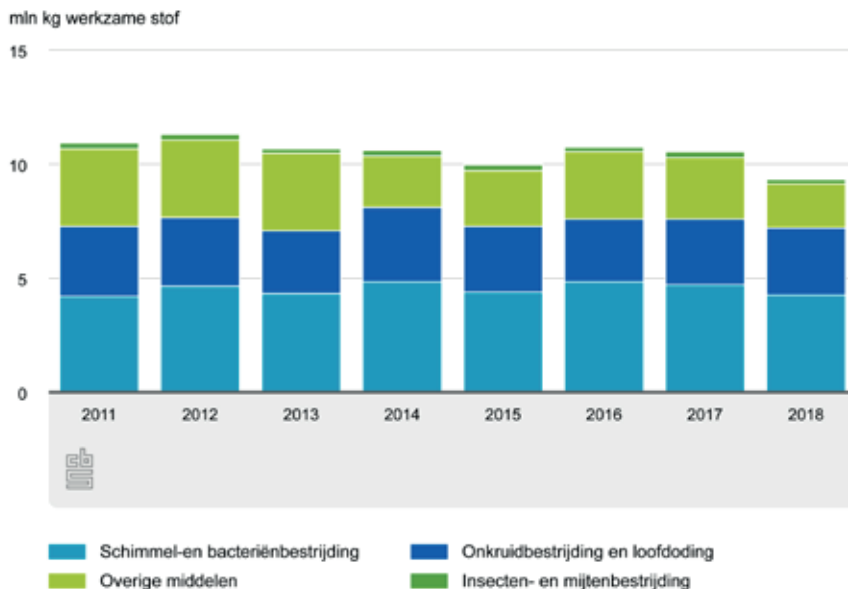
Vanaf de jaren 50 komen er ook chemische bestrijdingsmiddelen op de markt die specifieker zijn, de zogenoemde systemische middelen. Die doden bijvoorbeeld niet alle schimmels of insecten, maar alleen bepaalde soorten schimmels of alleen bepaalde stadia van insecten. Zulke specifiekere bestrijdingsmiddelen zijn goed te combineren met het gebruik van natuurlijke vijanden, de biologische bestrijdingswijze die sinds de jaren 70 opgekomen is in de kas- en fruitteelt. Als je een van nature voorkomende sluipwesp gebruikt om van bloedluis in de fruitteelt af te komen, maar je hebt ook last van rupsen, kun je dus selectieve middelen gebruiken die alleen de rupsen doden.

Nadeel van deze specifiek werkende middelen is dat de plantenbelagers er makkelijker resistent tegen worden. Soms is een enkele genetische verandering van de ziekteverwekker genoeg om er niet meer gevoelig voor te zijn. ‘Tegen bijvoorbeeld actieve stoffen uit de groep van de triazolen en de SDHI-fungiciden, beide breed gebruikt in de land- en tuinbouw ter bestrijding van onder meer meeldauw, zijn in de loop der jaren tal van resistenties opgetreden’, aldus Wijsmuller.

Eind jaren 80 is de geïntegreerde gewasbescherming opgekomen: het slim en zuinig inzetten van chemische bestrijdingsmiddelen. Bijvoorbeeld door niet preventief te spuiten, maar eerst eens aan te zien hoe een ziekte of plaag zich ontwikkelt en dan met waarschuwingsmodellen bekijken of de drempel voor economische schade wordt overschreden. Sinds 2014 is elke Europese land- en tuinbouwer verplicht de basisprincipes van geïntegreerde gewasbescherming te volgen.

De afgelopen twee decennia zijn er steeds meer gewasbeschermingsmiddelen van natuurlijke oor-

Verkoop gewasbeschermingsmiddelen



sprong op de markt gekomen. Denk aan virussen, bacteriën, schimmels en plantenextracten. Toch maakt deze zogenoemde groene chemie nog maar een heel klein deel uit van de totale bestrijdingsmiddelenmarkt, zegt Wijsmuller. Slechts 5 tot 7 procent van de omzet aan gewasbeschermingsmiddelen in Nederland bestaat uit groene chemie, de rest is nog steeds synthetische chemie.

En dat terwijl het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit wil dat de landbouw in 2030 afscheid neemt van de chemische bestrijdingsmiddelen. 'De druk is heel hoog', zegt Wijsmuller. 'Bestrijdingsmiddelen worden iedere tien jaar geëvalueerd en elke keer valt een deel af.' In de kassen lukt het volgens haar vrij goed om over te schakelen op biologische bestrijding en groene chemie. Maar in de buitenteelt is het veel lastiger. 'Als je geen herbiciden meer mag gebruiken, hoe kom je dan van het onkruid af zonder enorme kosten te maken? En de groene chemie is minder robuust dan de synthetische. Boeren kunnen niet alleen daarop vertrouwen.' Ze vindt de plannen van het ministerie dan ook zeer ambitieus. 'Dat betekent dat we nog maar tien seizoenen hebben om alternatieven te onderzoeken. Dat is heel erg weinig. Ik weet niet of dat voldoende is', zegt Wijsmuller.

Ook
schimmel-,
virus- en
bacterieziek-
ten zijn in
toom te
houden met
natuurlijke
vijanden

Biologische bestrijding: benut wat de natuur biedt

■ DR. JÜRGEN KÖHL EN PROF. DR. IR. GERBEN MESSELINK

OM VOLDOENDE voedsel te blijven produceren, moeten gewassen beschermd worden tegen schade veroorzaakt door plantenziekten. Hierbij is het wenselijk steeds minder chemische bestrijding toe te passen, om het risico voor mens, dier en milieu te verlagen. In kasteelten is het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen tegen schadelijke insecten en mijten sterk verminderd door massale inzet van gekweekte natuurlijke vijanden. Dit kunnen geleedpotigen zijn, zoals roofmijten, roofwantsen en sluipwespen, maar ook aaltjes die parasiteren op insecten of micro-organismen die insecten en mijten infecteren en uiteindelijk doden. Deze vorm van biologische bestrijding wordt al sinds de jaren 70 met succes toegepast tegen een groot aantal plagen. Niet alleen insectenplagen kunnen in toom gehouden worden met natuurlijke vijanden, maar ook schimmel-, virus- en bacterieziekten. De natuurlijke vijanden van deze ziekteverwekkers, de zogenoemde microbiële antagonisten, zijn meestal ook weer bacteriën, schimmels en virussen. Ze zijn te vinden door de natuur goed te bestuderen en de meest effectieve vijanden te selecteren.

In de bodem, op planten en in dood organisch materiaal leven veel soorten micro-organismen. Ze communiceren met elkaar via chemische stoffen. Ze breken voedselbronnen gezamenlijk af of beconcurreren elkaar om voedsel en ruimte. Soms maken ze daarbij gebruik van remmende stoffen. Micro-organismen die andere micro-organismen als voedselbron gebruiken, zogenoemde hyperparasieten, zijn in principe geschikte kandidaten voor biologische bestrijding, maar datzelfde geldt voor goedaardige micro-organismen die het immuunsysteem van planten in paraatheid bren-

gen en zo indirect plantenbelagers remmen.

Deze micro-organismen worden uit de bodem of van planten of gewasresten geïsoleerd en op hun eigenschappen getoetst. Allereerst door te kijken in welke mate ze plantenpathogenen onderdrukken, en vervolgens door na te gaan of hun ecologische eigenschappen passen bij de beoogde toepassingen. Zo moeten ze voor toepassingen op bladeren in de open teelt ook koude- en droogteresistent en UV-tolerant zijn. Voor commerciële toepassingen moet natuurlijk ook de veiligheid voor mens, dier en milieu getest worden.

Er zijn nog meer eisen waaraan voldaan moet zijn. Stel, een microbiële product bevat schimmelsporen of bacteriën die als gedroogd poeder, als korrels of als zaadcoating op de markt worden gebracht. De micro-organismen worden door de fabrikant in grote bioreactoren gekweekt en daarna verwerkt tot een product. Alleen als die micro-organismen in grote hoeveelheden geproduceerd kunnen worden en vervolgens een houdbaarheid van ten minste enkele maanden hebben, zijn ze geschikt voor commerciële doeleinden. Bij de ontwikkeling van deze biologische bestrijders worden meestal enkele honderden tot zelfs duizenden kandidaten stapsgewijs getoetst om uiteindelijk een voor de praktijk effectief product op te leveren.

Hoe kunnen micro-organismen planten beschermen?

Microbiële gewasbeschermingsmiddelen berusten op bacteriën of schimmels die een groot spectrum aan mechanismen gebruiken om planten te beschermen tegen ziekteverwekkers. Een belangrijk werkingsmechanisme is het verhogen van de afweer van de plant door geïnduceerde resistentie. Hierbij produceren de nuttige micro-organismen kleine hoeveelheden van specifieke stoffen, zogenaamde *microbe-associated molecular patterns* (MAMPs), die via de wortels of bladeren in de plant worden opgenomen en daar afweerreacties opwek-

De gevlekte bladluis *Neomyzus circumflexus* vormt een plaag in kassen waar hij paprika en siergewassen als chrysanten en fuchsia aantast. De parasitaire wesp *Aphidius ervi* wordt ingezet om deze plaag in toom te houden.



ken (oftewel 'induceren' – vandaar 'geïnduceerde resistentie'). Daarbij maakt de plant stoffen aan die het pathogeen remmen zodra het binnendringt. Ook worden fysieke barrières zoals celwanden versterkt.

Daarnaast kunnen dergelijke micro-organismen de lokale groeiomstandigheden voor plantenpathogenen veranderen. Ze consumeren bijvoorbeeld suikers of specifieke nutriënten zoals ijzer, zodat die niet beschikbaar zijn voor de plantenbelagers – ze worden weggeconcurrerd. Beide belangrijke werkingsmechanismen, geïnduceerde resistentie en concurrentie, werken zonder directe interactie tussen natuurlijke vijand en het plantenpathogeen. Directe interactie vindt wel plaats bij hyperparasieten: zij leven op en in de ziekteverwekkende schimmels, doden die en gebruiken de vrijkomende nutriënten uit de gastheercellen. Veel micro-organismen gebruiken kleine hoeveelheden giftige stoffen om hun niche te verdedigen tegen andere micro-organismen. Ook hiervan maakt biologische gewasbescherming gebruik: er worden bacteriën en schimmels in de strijd geworpen die tijdens de interactie met het pathogeen kleine hoeveelheden remmende stoffen uitscheiden. Dit soort stoffen worden vervolgens in de omgeving weer snel afgebroken.

Microbiële producten die ziekten in toom houden, zijn volgens de regelgeving gewasbescher-

Manisch of moe: wat scheelt de biet?

■ IR. DORIET WILLEMEN



Rhizomanie, een virusziekte, zorgt dat de biet een baard krijgt.

Weinig mensen hebben interesse in de suikerbiet – hij kan ze letterlijk geen biet schelen. Maar dan vergeten ze hoe belangrijk gezonde suikerbieten zijn voor koekjes, snoep en chocola. Bovendien staat de suikerbietenteelt flink onder druk. Steeds meer gewasbeschermingsmiddelen zijn niet meer toegelaten en schadelijke plantenbe-

lagers moeten op andere manieren gestopt worden.

Aaltjes zijn minuscule wormpjes en de suikerbiet heeft er veel last van. Eén soort is het witte bietencysteaaltje *Heterodera schachtii* dat 'bietenmoeheid' veroorzaakt. Jonge aaltjes dringen de wortel binnen en voeden zich met wortelcellen. Daardoor vermin-

dert de wateropname en dat levert vooral op droge dagen slaphangende bietenplanten op. Op de plantenwortel ontstaan na een tijdje bolletjes van ongeveer 1 mm groot. Deze bolletjes, cysten, zijn de lichamen van opgezwollen vrouwtjes die door het plantenweefsel naar buiten groeien. Ze zitten bomvol met eitjes, die onder gunstige omstandigheden een paar jaar overleven in de bodem. Door een zogeheten vanggewas te zaaien op een besmette akker is het mogelijk om de aaltjespopulatie met 80 tot 90 procent te verminderen. Dat werkt zo: het vanggewas (gele mosterd of bladrammenas) scheidt stoffen uit die de aaltjes uit de cysten lokt, maar vervolgens verhongeren ze omdat de wortels van de vanggewassen niet geschikt zijn voor de diertjes. Bij rhizomanie, een virusziekte van biet, wordt de normaal ronde, kale biet puntvormig en ontstaan er dunne haarworteltjes die een baard lijken te vormen. Het virus wordt overgebracht door een protozo, een eencellig organisme. Dat is uitzonderlijk, want vaak worden plantenvirussen overgebracht door insecten. Die route geldt wel voor een ander virus, het bietenvergelingsvirus. Dat wordt namelijk overgebracht door de groene perzikluise, en wel wanneer die plantensap opzuigt uit het bietenblad – vergelijk het met hoe de malariamug mensen besmet. Als er eenmaal een virusbesmetting in het veld zit, breidt die zich door aanwezige luizen razendsnel uit. Door de bietenplantjes vanaf het begin goed te controleren en tijdig de luizen te bestrijden, wordt vergelingsziekte afgeremd. Toch kostte dit virus de telers in 2019 alleen al 7 miljoen euro.

De parasitaire schimmel *Verticillium biguttatum* dringt binnen in de plantenpathogene schimmel *Rhizoctonia solani* en is een geschikte kandidaat voor biologische gewasbescherming.



mingsmiddelen. Ze mogen alleen na toelating worden gebruikt. De Europese Unie en de Nederlandse autoriteiten (College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden, Ctgb) beoordelen de eigenschappen van de micro-organismen zoals natuurlijke verspreiding, levenscyclus of werkingsmechanisme. Ook wordt gekeken of ze gerelateerd zijn aan micro-organismen die mens of dier kunnen infecteren en wat daarvan de risico's zijn. Verder wordt de mogelijke productie van ongewenste stoffen beoordeeld. Ten slotte zijn meerjarige veldproeven vereist om de werkzaamheid van het microbiële product aan te tonen. Het label vermeldt in welke gewassen en tegen welke ziekten het middel mag worden gebruikt. Ook de toedieningswijze en dosering zijn vastgelegd. De toelatingsprocedure kan vele jaren duren en is dan ook kostbaar.

Biologische gewasbeschermingsindustrie

De microbiële gewasbeschermingsmiddelen worden geproduceerd door gespecialiseerde bedrijven. Mondiaal zijn er meer dan tweehonderd: veelal kleine en middelgrote bedrijven, maar ook multinationals zien er inmiddels brood in. Een groot deel is georganiseerd in de International Biocontrol Manufacturers Association (IBMA), die de commerciële toepassing van biologische middelen verder wil ontwikkelen. De jaarlijkse IBMA-beurs

trekt meer dan duizend deelnemers. De wereldmarkt voor biologische gewasbescherming, die nu zo'n 5 procent van de gehele gewasbeschermingsmarkt uitmaakt, groeit jaarlijks met zo'n 16 procent. Het is dan ook te verwachten dat in de toekomst steeds meer biologische middelen toegepast worden. In de kassenteelt is deze biologische bestrijding al veel verder ontwikkeld dan in de open teelten. Soms worden onder glas bijna alleen nog maar biologische middelen gebruikt.

In Brazilië passen agrarische ondernemers wel al veel microbiële middelen toe in open teelten op zeker zeven miljoen hectare. De verwachting is dat Europa zal volgen: de chemische gewasbeschermingsmiddelen worden in de nabije toekomst – in Nederland binnen tien jaar – aan banden gelegd en er wordt toegewerkt naar robuuste landbouwsystemen met een hoge weerbaarheid tegen ziekten. Hiervoor is de continue ontwikkeling van nieuwe microbiële middelen nodig.

Biologische microbiële gewasbeschermingsmiddelen kunnen in gangbare teeltsystemen chemische middelen deels vervangen. Hierdoor komen er minder residuen terecht in het voedsel en neemt het risico af dat pathogenen resistentie ontwikkelen tegen chemische middelen. Toekomstige robuuste en duurzame teeltsystemen combineren preventieve maatregelen zoals ziekteresistentie van gewassen, vruchtwisseling en het benutten van de natuurlijke buffering van de systemen door natuurlijke vijanden. Hierbij spelen de micro-organismen rondom de wortel een essentiële rol. Indien in de teeltsystemen risico's voor het optreden van enkele ziekten aanwezig zijn, dan kunnen microbiële middelen preventief of correctief worden toegepast. De selectieve microbiële middelen vullen de van nature aanwezige microbiële buffering aan. De breed werkzame chemische middelen kunnen die juist verstoren. In toekomstige teeltsystemen zijn selectieve microbiële middelen daarom bijzonder waardevol.

Een ‘vaccin’ voor de iep

■ DR. IR. JOEKE POSTMA

DE IEP is een prachtige en veelzijdige boom, die een belangrijke bijdrage levert aan de biodiversiteit. Zo zijn er bijna zeventig soorten rupsen die zich op de iep voeden, en vlinders zoals de iepenpage en iepenuil zijn volledig in de iep gespecialiseerd. Omdat iepen goed bestand zijn tegen (zee)wind, zich herstellen na wortelbeschadiging en relatief ongevoelig zijn voor luchtverontreiniging, is de iep bij uitstek geschikt als laan- en straatboom. Ooit stond Nederland er vol mee, met een geschat aantal van 1,5 miljoen, vooral langs wegen en kanalen, in steden en het kustgebied.

Een eeuw geleden, in 1919, deed de iepziekte haar intrede in Nederland. Onderzoek naar de oorzaak werd opgestart door de Johanna Westerdijk van het Fytopathologisch Laboratorium in Baarn, de eerste vrouwelijke hoogleraar in Nederland. Vanwege de succesvolle identificatie van de ziekte in Nederland kreeg die in de Engelstalige wereld de naam ‘Dutch elm disease’. Het bleek om een schimmel te gaan, *Ophiostoma ulmi*, die op ingenieuze wijze wordt verspreid door de iepenspintkever. De kever legt zijn eieren onder de bast van verzwakte of net gestorven iepenbomen. De larven die eruit komen, voeden zich met de binnenbast, en na verpoping vreten ze zich een weg naar buiten. De jonge kevers vliegen uit en gaan op zoek naar jonge bast van gezonde bomen. Zo worden schimmelsporen van een aangetaste verzwakte of dode iep heel efficiënt door de kevers naar gezonde iepen verspreid. Bij succesvolle infectie verwelken eerst takken boven in de boom, maar uiteindelijk gaat de

boom dood en is het een broedboom voor nieuwe kevers. Zo is de cirkel rond.

In diverse Europese landen werd het iepenbestand met wel 40 procent gereduceerd door deze eerste uitbraak van de iepziekte. Vanaf 1960 werden er weer iepen aangeplant; men had nieuwe klonen waarvan men verwachtte dat ze voldoende resistent waren. Vanaf 1972 verspreidde zich echter een nieuwe, agressievere schimmel vanuit Amerika (*Ophiostoma novo-ulmi*). Volwassen iepen werden hierdoor in vrijwel heel Europa uitgeroeid.

Om te voorkomen dat de iep geheel uit het landschap zou verdwijnen, voerde Nederland van 1977 tot 1991 een stringent, door de overheid gecoördineerd beleid. Door het verwijderen van alle aangetaste en dode bomen, inclusief het zo snel mogelijk ontschorsen van dood hout, werd het aantal broedplaatsen van de iepenkever vermindert en daarmee de verspreiding van de iepziekte tegengegaan. Het percentage jaarlijks nieuw geïnfecteerde bomen daalde hiermee van ruim 10 naar 1 procent. In 1991 werd dit beleid echter losgelaten en steeg het landelijke uitvalpercentage weer naar 10 à 15 procent per jaar. Uitzonderingen hierop waren de gemeente Amsterdam en vanaf 2005 de Iepenwacht in Friesland, waar het oude beleid werd gecontinueerd.

Injecties met ‘vaccin’

In 1992 kwam er een biologisch bestrijdingsmiddel beschikbaar dat, mits goed toegepast en jaarlijks herhaald, gezonde iepen beschermt. Het bevat sporen van de schimmel *Verticillium albo-atrum*, die na injectie het immuunsysteem van de boom



ZWAAR ZIEKE IEP UITLOOPERS OP DEN STAM

Iep met iepziekte. Door afsluiting van het vaatweefsel sterven de takken af. Nieuwe uitlopers verwelken ook spoedig. Onderwijsplaat uit 1941 van de Universiteit Utrecht, gebruikt door hoogleraar plantenziektekunde Johanna Westerdijk.

activeren. Dit mechanisme heet 'geïnduceerde resistentie'. Het is te vergelijken met een griepvaccin: het moet toegediend worden voordat de boom geïnfecteerd raakt. Voor de iepziekte geldt dat de bomen elk voorjaar geïnjecteerd moeten worden om de nieuwe vaten te beschermen. Zo'n behandeling, die bescherming aan waardevolle iepen biedt met name in steden, is weliswaar duur en

arbeidsintensief, maar het opruimen van zieke en het aanplanten van nieuwe bomen is vele malen kostbaarder. Jaarlijks worden in Nederland zo'n 25.000 iepen geïnjecteerd met dit middel. Daardoor blijft de uitval nu onder de 0,1 procent. Ook in diverse andere landen wordt dit in Nederland geproduceerde vaccin tegen iepziekte toegepast. Helaas werkt het niet als de infectie binnendringt via wortelcontact met zieke bomen.

Een derde bestrijdingsstrategie is het aanplanten van resistente rassen. Voor bomen is het ontwikkelen hiervan echter een proces van lange adem. De start van het onderzoek naar de ontwikkeling van resistente iepenrassen dateert al van de eerste helft van de 20^e eeuw. Met name in Nederland en de Verenigde Staten zijn grote en langlopende kruisings- en selectieprogramma's uitgevoerd. Die werpen nu hun vruchten af: er komt een groeiend aantal resistente iepenrassen beschikbaar.

Door de combinatie van bestrijdingsstrategieën en beschikbaarheid van resistente rassen is er weer volop toekomst voor de iep. In Amsterdam, met 31.000 iepen, wordt elk voorjaar tijdens het Springsnow-festival stilgestaan bij het prachtige natuurverschijnsel van de iepenzaadjes die als lentesneeuw door de straten dwarrelen. De Vlinderstichting meldt ook een positief effect op de biodiversiteit: de iepenpage, die zich had teruggetrokken naar slechts enkele locaties in Limburg, is nu ook gesignaleerd in Nijmegen, Eindhoven, Winterswijk en zelfs Amsterdam!

Ook plantenbelagers nemen regelmatig het vliegtuig. Door globalisering is de verspreiding van plantenziektes flink toegenomen. Wat kunnen we daaraan doen?



4

Toezicht op de plantgezondheid

Het zal veel mensen ontgaan, maar op de plantgezondheid wordt wereldwijd toegezien. Er is een internationaal plantbeschermingsverdrag, en er zijn afspraken buiten en binnen Europa. Daardoor is er geen plantje dat zomaar zonder certificaat of paspoort mag worden verhandeld. Dit alles om te voorkomen dat plantenbelagers met hen meeliften en nieuwe slachtoffers maken. Als het ze dan toch lukt om door de mazen van de internationale regels te glippen, wachten er fikse maatregelen. Bestrijding en quarantaine bijvoorbeeld, om verdere besmetting te voorkomen. De bescherming van de plantgezondheid lijkt sterk op de bescherming van de volksgezondheid.

Hoe is de plantgezondheid wereldwijd georganiseerd?

ZOALS EEN nieuwe vorm van een griep- of een coronavirus zich over de wereld kan verspreiden, zo kunnen ook plantenbelagers zich over de wereld verspreiden. Hoe werken landen samen om dat te voorkomen en hoe kunnen individuele landen zich ertegen beschermen?

■ DR. NICO HORN

Wereldwijd zijn er duizenden ziekten en plagen die planten bedreigen. De ziekten kunnen veroorzaakt worden door schimmels, oömyceten, bacte-

riën, virussen en aaltjes; de plagen kunnen insecten zijn die zich voeden met planten. De meeste plantenbelagers hebben slechts een beperkt verspreidingsgebied, bijvoorbeeld omdat de plant waarvan ze eten alleen in bepaalde gebieden groeit of omdat ze een voorkeur hebben voor hoge temperaturen en daarom alleen in tropische gebieden overleven. Andere hebben mogelijk nog niet de kans gehad om zich over de wereld te verspreiden. Het kan zelfs zo zijn dat bepaalde plantenbelagers slechts in één werelddeel voorkomen en daar geen schade veroorzaken, omdat de plant waarvan ze leven eraan gewend is geraakt en zich aangepast heeft.

Als plantenbelagers zich verspreiden naar een ander werelddeel, waar de planten niet aan ze gewend zijn, kan dat zeer grote schade en snelle

uitbreiding tot gevolg hebben. Dat is vergelijkbaar met de introductie van ziekten zoals pokken, mazelen en griep toen de Europeanen Amerika bereikten en deze ziekten overdroegen op de lokale bevolking, die er niet tegen bestand was. Zo is er bijvoorbeeld het dennenhoutaaltje, *Bursaphelenchus xylophilus*, dat van oorsprong uit Noord-Amerika komt. Lokale dennenbomen hebben er nauwelijks last van. Maar toen het aaltje zich over Japan en delen van Europa verspreidde, gaf dit massale sterfte van dennenbomen.

De mate waarin plantenbelagers zichzelf kunnen verspreiden is beperkt. De mens verspreidt ze over veel grotere afstanden door het verhandelen en verslepen van planten. Zeker de afgelopen decennia is de verspreiding van plantenbelagers sterk gegroeid door de toenemende internationale handel in planten, zoals exotische groenten en fruit, snijbloemen, zaden, stekken, bomen en hout. Al deze planten en plantaardige producten kunnen belagers herbergen.

De afgelopen decennia is de verspreiding van plantenbelagers sterk gegroeid door de toenemende handel in planten.

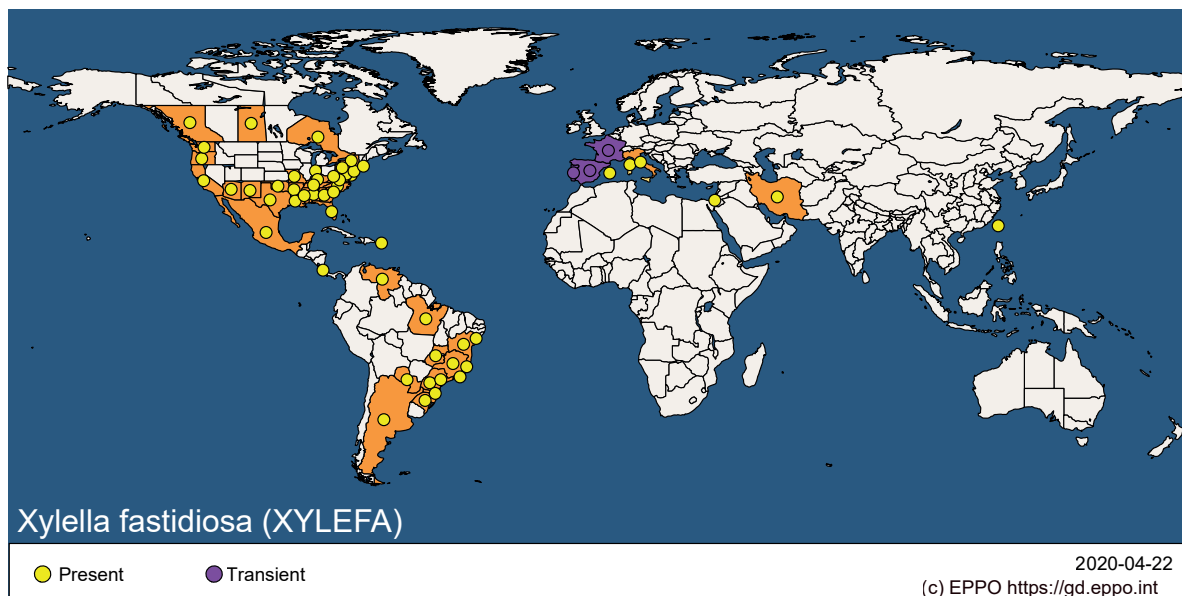


Landen hebben in 1951 een internationaal verdrag opgesteld en het in 1997 herzien om samen te werken aan de bescherming van planten tegen plantenbelagers. Het Internationaal Plantbeschermingsverdrag, in het Engels *International Plant Protection Convention*, is ondertekend door meer dan 180 landen, inclusief Nederland en de Europese Unie, en erkend door de Wereldhandelsorganisatie. Het doel van het verdrag is het waarborgen van internationale samenwerking om samen wereldwijd planten te beschermen tegen de verspreiding van plantenbelagers. Dit om de voedselzekerheid en de biodiversiteit te behouden, terwijl de internationale handel in planten en plantaardige producten mogelijk blijft. Landen mogen alleen gezondheidseisen stellen aan de import van planten als die wetenschappelijk onderbouwd zijn.

Plantgezondheidscertificaat

Eén van de manieren om die gezondheid wereldwijd te garanderen is het gebruik van het zogenoemde plantgezondheidscertificaat. Hiermee verklaren de landen dat de planten en plantaardige producten die ze exporteren, voldoen aan de gezondheidseisen van het importerende land. Het importerende land heeft wettelijk vastgelegd welke eisen het stelt aan de import: het kan eisen dat de planten geïnspecteerd zijn en vrij zijn van specifieke plantenbelagers, of dat de planten ook nog geïnspecteerd zijn in het veld of getoetst in het laboratorium.

Behalve via de handel van planten en plantaardige producten kunnen plantenbelagers zich ook op andere wijzen verspreiden over de wereld. Een belangrijke bron is het verpakingshout (kisten, pallets) dat gebruikt wordt voor het vervoer van bijvoorbeeld auto-onderdelen, computers of speelgoed. In het hout kunnen insecten en aaltjes zitten die bomen kunnen aantasten. Sinds de jaren negentig hebben zich bijvoorbeeld een aantal uitbraken van nieuwe ziekten en plagen



Verspreiding van *Xylella fastidiosa* over de wereld. De bacterie kan op 200 gewassen voorkomen. De olijventeelt in Zuid-Europa heeft er momenteel zwaar onder te lijden.

in Europa voorgedaan die zijn te herleiden tot verpakkingshout. Het dennenhoutaaltje is er één van, de Aziatische boktor een andere. In het Internationaal Plantbeschermingsverdrag is toen wereldwijd een gestandaardiseerde methode van behandeling afgesproken. Deze behandeling kunnen landen in hun wetgeving verplicht stellen om verspreiding van ziekten en plagen met verpakkingshout te voorkomen. Maar een plantgezondheidscertificaat bij elke pallet en elke kist werd niet haalbaar gevonden. Daarom is er afgesproken dat verpakkingshout gemarkeerd kan worden met een merkteken.

Plantgezondheidscertificaten, ook wel fytosanitaire certificaten genoemd, bestaan al meer dan honderd jaar. Het eerste werd in Nederland in 1899 afgegeven als verklaring dat de planten uit Boskoop vrij waren van druifluus, zodat ze naar de Verenigde Staten geëxporteerd mochten worden. Nu worden er jaarlijks honderdduizenden afgegeven in Nederland en miljoenen wereldwijd. Hoewel er veel echtheidskenmerken worden gebruikt voor

deze certificaten, blijkt fraude toch toe te nemen, zeker sinds er goede kleurenkopieerapparaten en printers beschikbaar zijn. Daarom zijn er nu elektronische versies van de plantgezondheidscertificaten ontwikkeld, die fraudebestendiger en wereldwijd geharmoniseerd zijn onder het Internationaal Plantbeschermingsverdrag.

Ook het meenemen van planten, zaden, vruchten of bloemen uit andere landen verhoogt het risico op verspreiding van plantenbelagers. Daarnaast is er een sterke toename in de internethandel in planten. Bij het bestellen weet de klant niet waar de planten vandaan komen en of ze geen nieuwe ziekten of plagen bevatten. Dit is onderwerp van gesprek binnen het Internationale Plantbeschermingsverdrag, omdat landen dit niet alleen kunnen oplossen. Landen gaan de mogelijkheid om planten, zaden, vruchten of bloemen mee te nemen op reis sterk inperken. Daarnaast gaan ze pakketpost – de manier waarop internetbestellingen het land binnenkomen – intensiever controleren.

Het meenemen van planten, zaden, vruchten of bloemen uit andere landen verhoogt het risico op verspreiding van plantenbelagers

Met posters kunnen landen aangesloten bij de *European and Mediterranean Plant Protection Organization* (EPPO) reizigers waarschuwen voor het risico van het meenemen van planten uit andere landen.



Internationaal Jaar van de Plantgezondheid

De VN heeft 2020 uitgeroepen tot Internationaal Jaar van de Plantgezondheid. Het voornaamste doel van dit jaar is het belang van de plantgezondheid breder onder de aandacht te brengen. Veel partijen hebben belang bij bescherming van plantgezondheid en iedereen kan een steentje bijdragen. Burgers kunnen voorzichtiger zijn met het bestellen van planten op internet en stoppen met het mee naar huis nemen van planten uit andere landen. Politici kunnen het belang van de bescherming van plantgezondheid onderkennen en er meer budget voor beschikbaar stellen. Uiteindelijk zijn planten van essentieel belang voor de voedselvoorziening en de biodiversiteit.

Binnen het Internationale Plantbeschermingsverdrag zijn ook afspraken gemaakt over regionale samenwerkingen. In Europa is in 1951 de *European and Mediterranean Plant Protection Organization* (EPPO) opgericht. 52 landen in Europa, Noord-Afrika en Centraal-Azië zijn daar lid van. EPPO ondersteunt zijn leden met adviezen, doet voorstellen tot harmonisatie van werkwijzen en voert

risicoanalyses uit, zodat de leden efficiënter de risicovolle ziekten en plagen kunnen bestrijden. Daarnaast ontwikkelt EPPO ook voorlichtingsmateriaal dat in alle landen gebruikt kan worden om bewustwording te vergroten. Tevens vormt EPPO een platform waar deskundigen op het gebied van plantgezondheid kunnen samenwerken, een netwerk vormen en ervaringen delen, zodat het beperkte aantal deskundigen op het gebied van plantgezondheid zijn krachten kan bundelen. De verspreiding van plantenbelagers kan alleen effectief worden aangepakt als landen wereldwijd en regionaal samenwerken en als beleidsmakers, deskundigen en burgers daaraan bijdragen.

De neveneffecten van globalisering

■ PROF. DR. JELLE REUMER

HET IS de olifant in de kamer: het gesleep met planten en dieren over de aardbol. Op enkele plaatsen in dit cahier komt ter sprake dat de zegeningen van de globalisering een keerzijde hebben. De coronacrisis is daar een wrang voorbeeld van. Al sinds de oudheid worden planten, dieren en ziekten van hot naar her getransporteerd. De Romeinen brachten ons de rat en de pest, Columbus aardappelen, mais en syfilis, en moderne vliegtuigen brengen sperziebonen uit Senegal, asperges uit Peru en rozen uit Kenia. Daardoor vinden we het vanzelfsprekend dat we jaarrond vrijwel alles kunnen kopen. Maar dikwijls kunnen ziekteverwekkers meeliften met zulke transporten.

Tijgermuggen, verstekelingen op het sierplantje *lucky bamboo* uit China, zijn potentieel gevaarlijk

Een nog onbekende galmug tast de Afrikaanse lelie *Agapanthus* in Engeland aan. Komt dit insect ook naar Nederland?



voor de mens omdat ze ziekten kunnen overdragen. Maar ook plantenbelagers kunnen ongemerkt worden verspreid, zich ergens vestigen en grote ellende aanrichten. Eén voorbeeld: in oktober 2018 meldde de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit de vondst van het mijtje *Tetranychus mexicanus* op sierplanten (*Beaucarnea recurvata* – olifantspoot, een populaire kamerplant) in een kas in Drimmelen. De bladeren verkleuren doordat de mijten bladcellen leegzuigen en de planten worden onverkoopt. Deze mijtjes, hun naam verklapt het al, waren afkomstig uit Midden-Amerika en zijn niet op eigen kracht hierheen gewandeld.

Dit cahier staat vol met meer voorbeelden van plantenziekten die via transport tot ons gekomen zijn, van de grote Oost-Aziatische boktor *Anoplophora chinensis* tot de olijfbomverwoestende bacterie *Xylella fastidiosa* (zie Uitgelicht, Een veradelijk souvenirje). Wat we als grootste gemene deler kunnen ontwaren, is dat er geen sprake is van natuurlijke introducties die als een *act of God* te beschouwen zijn, maar van verplaatsingen via menselijke transportmiddelen. Schimmels, mijten, insecten, virussen – het wereldwijde transport van voedings- en siergewassen en zelfs van verpakkingsmateriaal als karton of houten pallets kan leiden tot ongemerkte maar dikwijls zeer schadelijke nevenimport. Het zou een reden kunnen zijn om meer belang toe te kennen aan een lokale of regionale herkomst van onze voedingsgewassen en sierplanten, en de ongebreidelde im- en export ervan te beteugelen.

Plantenbelagers in quarantaine

■ DR. IR. DIRK JAN VAN DER GAAG

UITBRAKEN VAN nieuwe plantenziekten en plaagorganismen komen regelmatig voor in Nederland en andere Europese landen. Zo kwam de buxusmot, die al vele buxushagen in tuinen heeft kaalgevreten, van oorsprong niet voor in Europa (zie Uitgelicht, De koninklijke heg-weg). In de Europese Unie (EU) is er wetgeving om zulke nieuwe ziekten en plagen buiten de deur te houden. Dat lukt niet altijd, maar zonder wetgeving zouden er waarschijnlijk nog veel meer ziekten en plagen zijn. Er zijn namelijk heel veel verschillende plantenbelagers in de wereld die met de import van allerlei planten en producten kunnen worden geïntroduceerd.

Een van de onderdelen van de EU-wetgeving is een lijst met zogenaamde quarantaineorganismen, schadelijke organismen die nog niet in de EU voorkomen, of slechts in een klein gebied. Momenteel staan er ongeveer 175 soorten en groepen van organismen op. Ze komen op de lijst als ze bij introductie onacceptabel veel schade veroorzaken en wanneer er maatregelen zijn om introductie of verspreiding tegen te gaan. Bij een vondst van een quarantaineorganisme zijn de lidstaten verplicht deze te melden en maatregelen te nemen om het organisme te bestrijden.

Risico

Organismen kunnen alleen aan de lijst van EU-quarantaineorganismen worden toegevoegd nadat hun risico is beoordeeld. Onderzocht wordt hoe het organisme de EU binnen kan komen – bijvoorbeeld via import van bepaalde planten of vruchten – en hoe groot de kans daarop is. Er wordt ook een inschatting gemaakt of het Europese klimaat geschikt is voor vestiging en hoeveel schade het organisme zal veroorzaken indien het zich in

de EU vestigt. Vervolgens worden maatregelen geïdentificeerd en geëvalueerd om de kans op introductie van het organisme te verminderen.

Het maken van een risicobeoordeling voor de hele EU is zeer tijdrovend. Tot 2005 werden er maar weinig gemaakt. Maar de laatste jaren is dat veranderd. Met name doordat de Europese Autoriteit voor Voedselveiligheid (EFSA), opgericht in 2002, ook risicobeoordelingen is gaan maken op het gebied van de plantgezondheid. Plantenziekten en plagen kunnen immers een bedreiging zijn voor de voedselproductie. Voor ziekten en plagen die siergewassen bedreigen maakt EFSA overigens eveneens risicobeoordelingen. Door de inspanningen van EFSA is er de laatste vijf tot tien jaar een groot aantal risicobeoordelingen opgesteld. Ook de 'European and Mediterranean Plant Protection Organization' (EPPO) maakt risicobeoordelingen. Deze zijn zo opgesteld dat ze ook bruikbaar zijn voor de EU. Tevens kunnen afzonderlijke lidstaten een risicobeoordeling maken voor de gehele EU. De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) heeft meerdere risicobeoordelingen opgesteld voor de EU, zoals voor de paprikasnuitkever (zie kader).

Een EU-werkgroep 'Annexen' stelt adviezen op voor aanpassing of uitbreiding van regelgeving. Dat kan bijvoorbeeld een aanscherping van importeisen zijn, of een toevoeging van een nieuw organisme aan de quarantainelijst. Een comité bestaande uit vertegenwoordigers van alle lidstaten stemt uiteindelijk over de adviezen. De uitkomst van de stemming wordt vastgelegd in EU-regelgeving.

Bij een vondst van een schadelijk organisme dat nieuw is voor de EU of nog een beperkt verspreidingsgebied heeft, wordt een korte risicobeoordeling (quicksan) opgesteld door deskundigen van het Nationaal Referentiecentrum van de NVWA en BuRO, een onafhankelijk orgaan van de NVWA. Op basis daarvan wordt besloten of officiële maatregelen noodzakelijk zijn. Als dat het geval is, infor-

Er staan
ongeveer 175
soorten en
groepen van
organismen
op de lijst met
quarantaine-
organismen

De paprikasnitkever

In 2012 werd in een paprikakas in het Westland de paprikasnitkever (*Anthonomus eugenii*) gevonden. Dit organisme was nieuw voor de EU. De kever kwam indertijd voor in Midden- en Noord-Amerika en Frans-Polynesië. Deze kever tast de vruchten aan, waardoor deze afvallen of onverkoopbaar worden. De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit heeft toen na een korte risicobeoordeling maatregelen genomen om het organisme uit te roeien. Besmette bedrijven moesten hun gewassen ruimen. Vervolgens heeft deze organisatie een uitgebreide risicobeoordeling gemaakt voor de gehele EU. Op basis daarvan



heeft het organisme sinds oktober 2014 de quarantainestatus. Zodra een lidstaat het bestje vindt, is het dus verplicht de kever te bestrijden.

meert de NVWA de Europese Commissie en andere lidstaten over dit besluit. Die kan vervolgens noodmaatregelen instellen tegen het organisme. Er zijn ook systemen in gebruik waarbij literatuur en websites systematisch worden doorzocht op berichten over nieuwe bedreigingen. Resultaten van dergelijke zoeksystemen kunnen aanleiding zijn tot het opstellen van quickscans en uiteindelijk toevoeging van nieuwe organismen aan de lijst van EU-quarantaineorganismen.

Nieuwe bedreigingen

Van de bestaande EU-quarantaineorganismen vormen onder andere de bacterie *Xylella fastidiosa* en de essenprachtkever *Agrilus planipennis* een groot risico voor Nederland. De bacterie is in Zuid-Europa op meerdere plaatsen aanwezig en veroorzaakt veel schade aan olijven. De ziekteverwekker kan op meer dan tweehonderd andere plantensoorten voorkomen. In het Nederlandse klimaat zal de bacterie waarschijnlijk weinig schade geven, maar de maatregelen die Nederland moet nemen bij een vondst kunnen een grote economische impact

hebben. Bij een vondst die niet direct te herleiden is tot recent ingevoerde planten, moet namelijk een gebied van ten minste 5 km breed rondom de besmetting worden afgebakend. Vanuit dat gebied is vervolgens geen handel meer mogelijk van alle bekende planten die de ziekte kunnen verspreiden. Wanneer de bacterie bijvoorbeeld in een boomkwekerijcentrum wordt gevonden waar veel bedrijven bij elkaar zitten, zal dat grote economische gevolgen voor de boomteeltsector hebben.

De essenprachtkever vormt een heel andere bedreiging. Deze soort zal in Nederland wel heel schadelijk zijn. De kever komt oorspronkelijk uit het oosten van Azië, waar hij weinig problemen veroorzaakt, omdat de essensoorten daar weinig vatbaar zijn. De Amerikaanse en Europese es zijn er echter zeer vatbaar voor en de kever heeft na introductie in Noord-Amerika, vermoedelijk in de jaren 90, tientallen miljoenen essen gedood. De kever is ook geïntroduceerd in de omgeving van Moskou, rukt op naar het westen en is in 2019 aangetroffen in Oekraïne. De verwachting is dat de kever uiteindelijk ook in de EU zal komen en dan lastig te stoppen zal zijn. Pogingen om deze plantenbelager in Noord-Amerika uit te roeien of af te remmen zijn niet succesvol gebleken.

Naast de bekende bedreigingen zijn er ook onbekende bedreigingen. In 2014 werd in Engeland bijvoorbeeld een nog onbeschreven galmugsoort gevonden op de Afrikaanse lelie (*Agapanthus*). De galmug tast de bloemknoppen aan, die vervolgens niet uitkomen. Tijdens een officiële survey in 2015 in Engeland bleek de galmug al op veel plaatsen voor te komen. Engeland heeft geen officiële maatregelen genomen en de soort heeft nog geen EU-quarantainestatus. Er zijn geen meldingen op het Europese vasteland, maar de verwachting is dat deze galmug wel een keer de oversteek zal maken.

De koninklijke heg-weg

■ IR. DORIET WILLEMEN



De rupsen van de
buxusmot kunnen
de buxus compleet
kaalvreten.

Iedereen kent ze wel, de buxushaagjes in tuinen. Sommige tuinliefhebbers hebben ook grotere struiken, die ze in allerlei vormen snoeien. En ook in paleistuinen, zoals die van Versailles, zijn de groenblijvende planten populair. Hoewel, 'groenblijvend'... De sierplant heeft de laatste jaren moeite om zijn soortnaam (*Buxus sempervirens* betekent 'altijd groene buxus') waar te maken.

Voor de meeste dieren en de mens is het blad giftig, maar de rupsen van de buxusmot (*Cydalima perspectalis*) gedijen er goed op. Ze eten, vervellen en poepen net zo lang totdat ze gaan verpoppen tot vlinder. De struiken waar de beestjes op zitten krijgen steeds meer dorre, kale takken met spinseldraden. Als dat ieder jaar

opnieuw gebeurt, verzwakken de planten behoorlijk.

Na enkele jaren met veel overlast lijkt het erop dat het natuurlijk evenwicht zich langzaam aan het herstellen is. Koolmezen en andere vogels zijn behulpzaam geweest bij het bestrijden van de rupsenplaag. Bovendien is er voor de rupsen zelf weinig te eten meer over. Alle buxusplanten zijn kaal of zijn vervangen door andere plantensoorten. De buxusmot lijkt dus een beetje op haar retour. Net als de professionele buxuskwekers. Hun aantal is in tien jaar tijd ruim gehalveerd. Helaas hebben buxusplanten nog meer te vrezen dan alleen de buxusmot. Ook de schimmel *Cylindrocium buxicola* vormt een bedreiging. Deze plantenziekte veroorzaakt

donkerbruine vlekken op de bladeren, verdroging en uiteindelijk afsterven van de struikjes. Getroffen tuinliefhebbers bevinden zich overigens in goed gezelschap. Ook de buxushaagjes in de tuin van paleis Het Loo moesten het vanaf 2009 flink ontgelden. In 2013 was de schimmelaantasting daar zo erg dat besloten werd om 27 kilometer aan haagjes te roeien en te vervangen door 90.000 struikjes Japanse hulst (*Ilex crenata*). Een klus die twee jaar duurde. Ilex is wel bestand tegen deze schimmel en staat – een geluk bij een ongeluk – niet op het menu van de buxusmot.

Gegevens over goedgekeurde stoffen en toegelaten middelen worden iedere tien jaar opnieuw bekeken

Ieder gewasbeschermingsmiddel is verboden tenzij het is toegelaten

■ DR. IR. TONNIE ENGELS

GEWASBESCHERMINGSMIDDELEN ZIJN middelen die gebruikt worden voor de bestrijding en het voorkomen van ziekten, plagen en onkruiden in gewassen. Ze worden daarom ook wel bestrijdingsmiddelen genoemd. Een gewasbeschermingsmiddel bevat één of meer werkzame stoffen: de actieve bestanddelen. Die zijn essentieel voor de werking tegen schadelijke organismen. Daarnaast bevat het ook nog hulpstoffen en toevoegingen. Die zorgen voor stabiliteit, een veilige en efficiënte toepassing en een goede werking.

Mag een gewasbeschermingsmiddel zo maar op de markt worden gebracht en verkocht? Zeker niet! Ieder gewasbeschermingsmiddel is verboden tenzij het is toegelaten. Hoe gaat dat in zijn werk? Gewasbeschermingsmiddelen en hun werkzame stoffen worden beoordeeld op de veiligheid voor mens, dier en milieu. Dat gaat in twee stappen. Eerst wordt de werkzame stof op Europees niveau beoordeeld en al dan niet goedgekeurd. Bij goedkeuring beoordelen vervolgens de lidstaten het eindproduct en laten het al dan niet toe. Gegevens over goedgekeurde stoffen en toegelaten middelen worden in de regel iedere tien jaar opnieuw bekeken op basis van de nieuwste wetenschappelijke inzichten.

De Europese Commissie keurt een werkzame stof pas goed na een gedegen en uitvoerige wetenschappelijke beoordeling die moet verzekeren dat de stof veilig is voor gebruik. Er moet een volledig dossier worden ingediend met resultaten van studies die voldoen aan de EU-eisen. Het gaat om gegevens over fysisch-chemische eigenschappen, de giftigheid voor mensen en ecosystemen, residuen, gedrag in bodem, water en lucht, en de

werkzaamheid. De dossiers worden beoordeeld door de nationale autoriteiten van de lidstaten – zoals het Nederlandse College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Ctgb) – en door de Europese Voedsel- en Warenautoriteit (EFSA). Na goedkeuring van de werkzame stof kan de producent van het gewasbeschermingsmiddel een aanvraag voor toelating van een middel op basis van deze werkzame stof indienen bij de Europese lidstaten. Die beoordelen het dossier en nemen dan een besluit over het al dan niet toelaten. Een verkregen toelating is alleen geldig voor de teelten die gespecificeerd zijn in het wettelijk gebruiksvoorschrift.

Niet in alle lidstaten gelijk

Hoe kan het dat sommige middelen wel zijn toegelaten in bijvoorbeeld België en Duitsland, maar niet in Nederland? De verordening voor gewasbeschermingsmiddelen geldt in alle lidstaten, maar de agrarische of milieuomstandigheden zijn niet overal gelijk. De lidstaten hebben daarom de mogelijkheid hiervoor nationaal specifieke elementen aan te wijzen. Vanwege het streven naar harmonisatie probeert het Nederlandse Ctgb zo min mogelijk af te wijken. Het neemt dus in principe toelatingen van andere EU-lidstaten over. Nationaal specifieke elementen die Nederland wel meeneemt in de beoordeling hebben te maken met water. Nederland is een waterrijk land en heeft meer sloten en oppervlaktewateren dan veel andere EU-landen. Het Cgtb vraagt daarom extra gegevens die aantonen dat het middel niet of zo min mogelijk in de sloten en ander oppervlaktewater terechtkomt. Daarnaast houdt Nederland rekening met een aantal technische onderwerpen vanwege specifiek landbouwkundig gebruik in Nederland. Zo is de teelt van aardappelen in Nederland van een dusdanig hoog niveau en de populatie van *Phytophthora infestans*, de veroorzaker van de aardappelziekte, zo divers dat uit proeven moet blijken dat een middel

Een half-geautomatiseerde robot besproeit chrysanten in een kas met een gewasbeschermingsmiddel.



werkzaam is onder Nederlandse teeltomstandigheden.

In de EU wordt een werkzame stof voor gewasbeschermingsmiddelen over het algemeen goedgekeurd voor een periode van tien jaar. Daarna moeten de stoffen opnieuw beoordeeld worden op de dan geldende eisen. Elke verlenging van een werkzame stof vereist ook een herbeoordeling van de toegelaten middelen op basis van die stof. Omdat de eisen door de jaren heen strenger zijn geworden, vervalt van een groot aantal middelen de toelating. Een grove schatting is dat 30 tot 60 procent van de huidige middelen de komende jaren gaat verdwijnen. De verwachting is dat een groot aantal teelten in de problemen zal komen, doordat de ziekten en plagen niet meer effectief bestreden kunnen worden.

Risico versus gevaar

De strengere eisen komen mede voort uit een verschuiving in de wijze van beoordeling: niet

meer zozeer van het risico, als wel van het gevaar van stoffen en middelen. Wat is het verschil? Een mooi voorbeeld is een krokodil. Een krokodil in je tuin is gevaarlijk. Maar als die krokodil is omgeven door een metershoog ijzeren hek, is het risico dat de krokodil je iets aandoet nihil. Tot voor kort werd vooral gelet op het hek. Zo konden veel stoffen toch toegelaten worden door bepaalde restricties op te nemen. Tegenwoordig wordt er met name gekeken naar de krokodil, het intrinsieke gevaar van het middel. Resultaat is dat er minder stoffen en dus ook minder middelen op de markt komen.

Momenteel stimuleert de overheid het gebruik van zogenoemde groene middelen: gewasbeschermingsmiddelen met een natuurlijke oorsprong zoals micro-organismen, virussen, plantenextracten en feromonen. De bestaande regelgeving is echter oorspronkelijk ontworpen voor chemische middelen en niet één op één door te trekken naar groene middelen. Daardoor loopt de toelating van groene middelen vertraging op. Daarnaast is de

effectiviteit van groene middelen over het algemeen minder dan die van chemische middelen. Chemische middelen kunnen dan ook niet één op één vervangen worden door groene middelen.

Juist gebruik

De lidstaten moeten erop toezien dat de wettelijke gebruiksvoorschriften voor de toegelaten middelen nauwgezet gevolgd worden. Die staan op het etiket en in de bijsluiter. De gebruiksvoorschriften zijn gericht op een juiste toepassing, een optimaal effect en een minimale belasting voor het milieu. Ze geven aan in welke gewassen, op welke (veilige) manier en in welke concentraties de middelen toegediend moeten worden. Bovendien geldt er een verplichte spuitkeuring voor spuitapparatuur. Boeren en tuinders moeten ook de verpakkingen van gewasbeschermingsmiddelen volgens de regels schoonmaken na gebruik, met voorgeschreven apparatuur.

Degene die gewasbeschermingsmiddelen toepast, is verantwoordelijk en aansprakelijk voor een juist gebruik. In ons land is de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) de handhaver van de voorschriften. Ze controleert of middelen op de juiste manier worden toegepast en of er geen illegale middelen worden gebruikt. Inspecteurs voeren fysieke en administratieve controles uit. Daarnaast kunnen ze monsters nemen van het gewas, de grond of het geogste product. De inspecteurs kijken vooral in hoeverre de boer of tuinder de gebruiksvoorschriften volgt en ze checken de voorraad gewasbeschermingsmiddelen, het bewijs van vakbekwaamheid van de boer of tuinder (zie kader) en de administratieve verplichtingen. Zo doet Nederland er alles aan om ervoor te zorgen dat het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen geen nadelig effecten heeft voor mens, dier en milieu.

Bewijs van vakbekwaamheid

Voor gewasbescherming zijn strenge regels opgesteld, onder meer om mens en milieu te beschermen. Wie in Nederland met gewasbeschermingsmiddelen werkt of erover adviseert, moet beschikken over een vakbekwaamheidsbewijs, dat wordt uitgegeven door Bureau Erkenningen. De boer of tuinder zelf – of de professionele loonspuiters – moet zo'n bewijs hebben voor het toepassen van de gewasbeschermingsmiddelen (spuitlicentie), de transporteur of beheerder van verkooppunten een voor het distribueren en de teeltadviseur een voor het adviseren over gewasbeschermingsmiddelen. Om ervan verzekerd te zijn dat iedereen met een vakbekwaamheidsbewijs over up-to-date informatie beschikt, is het verplicht om regelmatig bijscholingscursussen te volgen. Deelnemers worden zo op de hoogte gehouden van de laatste kennis en regelgeving.

De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit controleert de verpakkingen van middelen bij een groothandel.



Een verraderlijk souvenir

■ IR. DORIET WILLEMEN

Voor deze olijvenbomen in Zuid-Italië zijn de gevolgen van een besmetting met de bacterie *Xylella fastidiosa* desastreus.



De olijventeelt in Zuid-Europa wordt geteisterd door een bacterie. Die heeft al 21 miljoen olijfbomen de kop gekost en hele boomgaarden zijn verwoest. Terwijl Italië vreest voor halvering van de oogst en de olijfolieproductie, neemt de EU maatregelen om verdere verspreiding van deze *Xylella fastidiosa* tegen te gaan. Of dat lukt, is nog maar de vraag. De bacterie is ook al in Spanje en Frankrijk aangetroffen. Er zijn geen chemische en biologische bestrijdingsmiddelen beschikbaar tegen *Xylella* en de verwachting is dat die er ook niet snel komen. De enige manier om de ziekte tegen te gaan is nieuwe besmettingen voorkomen. Daarom worden drastische maatregelen genomen: aangetaste bomen

worden vernietigd en ook in een wijde straal rondom een besmetting gaan de bomen voor de bijl. Het creëren van zulke bufferzones betekent dat er soms gezonde, eeuwenoude olijfbomen sneuvelen. Dat leidt tot heftige discussies. Helaas kan de bacterie niet alleen olijfbomen infecteren, maar ook ruim 300 andere plantensoorten, waaronder (on)kruiden zoals brandnetel en een scala aan tuin- en perkplanten. Het is dan ook niet voor niets dat de overheid waarschuwt om geen lavendel of andere leuke plantjes mee naar huis te nemen als herinnering aan een vakantie in het Middellandse Zeegebied. Ook niet als de plant er gezond uitziet, want sommige op het oog

gezonde exemplaren zijn toch besmet en vormen dus een infectiebron. Of een plant ziek wordt, hangt mede af van de temperatuur. Om het allemaal nog ingewikkelder te maken wordt de bacterie óók verspreid door insecten, waaronder het schuimbeestje. Op het Amerikaanse continent veroorzaakt *Xylella* al meer dan een eeuw grote problemen in de Californische druiventeelt. Amandel- en perzikbomen in de zuidelijke staten behoren eveneens tot de slachtoffers, evenals de citrusteelt in Brazilië.

Plantgezondheid is geen spelletje! Of toch wel?

■ DR. BART VAN DE VOSSENBERG

HET IS duidelijk dat plantgezondheid een belangrijk onderwerp is dat ons allemaal raakt. Toch zijn maar weinig mensen zich daarvan bewust. Hoe informeer je het brede publiek over onderwerpen waar ze in het dagelijks leven niet direct mee te maken hebben?

Serious gaming is een van de mogelijke antwoorden op die vraag. Serious games zijn fysieke of digitale spellen die vermaak niet als primaire doel hebben. Centraal staat bijvoorbeeld het communiceren, onderwijzen of het verwerven van inzicht rondom een thema. Serious gaming binnen plantgezondheid staat nog in de kinderschoenen en er zijn geen officiële uitgaven door spelafabrikanten. Wel bestaan er initiatieven om spellen te maken die specifieke thema's binnen plantgezondheid aan de orde stellen.

De speler kruipt in de huid

In het kader van het Internationaal Jaar van de Plantgezondheid heeft de Koninklijke Nederlandse Plantenziektkundige Vereniging (KNPV) het spel *Plant Pest Invasion* laten produceren. Daarin komen allerlei facetten van plantenbelagers aan bod: hun wereldwijde verspreiding, de factoren die daar invloed op hebben en de tegenmaatregelen van overheden. De speler kruipt in de huid van een plaagorganisme en moet zijn eigenschappen aanpassen om zo wereldwijd de meeste regio's binnen te dringen. Verschillen in klimaat kunnen de verspreiding van plaagorganismen aardig tegenhouden. De speler moet zijn of haar plaag dan aanpassen, zodat deze verschillende klimaatzones kan binnendringen. Ook de verspreidingswijze is een belangrijke eigenschap die aangepast kan wor-



Met het bordspel *Plant Pest Invasion* leer je op een speelse manier hoe plantenbelagers zich over de wereld kunnen verspreiden en hoe ze in toom zijn te houden.

den. Natuurlijke verspreiding via aangrenzende landen gaat relatief traag, maar op het moment dat een plaagorganisme zich via lucht- of zeehavens kan verplaatsen, kan het lekker opschieten. Plaagorganismen die zich voeden met een breed scala aan plantensoorten (waardplanten) hebben een voordeel ten opzichte van kieskeurige eters. Spelers kunnen de waardplantenreeks van hun plaag verbreden, waardoor het binnendringen in nieuwe regio's eenvoudiger wordt. Maar net als in het echt hebben de plagen geen vrij spel. Iedere ronde wordt een fytosanitaire inspectie uitgevoerd, waarbij plaagorganismen opgespoord en uitgeroeid worden. Uiteindelijk worden zelfs quarantaine-maatregelen doorgevoerd en gaan landen volledig op slot. Een grote versie van dit spel is inmiddels succesvol ingezet bij openbare evenementen en als onderdeel van themalessen in het middelbaar onderwijs.

Plantgezondheid een spelletje? Het kan dus wel!

Ook planten moeten een geldig pas

■ DR. RENSKÉ LANDEWEERT

DE TEELT en afzet van plantaardige producten is een belangrijke economische activiteit in de EU. De Nederlandse sierteelt vertegenwoordigt een exportwaarde van ruim 9 miljard euro en is daarmee een belangrijke speler in de EU-economie. De sierteelt kent een bloeiende handel in bloembollen, zaden, potplanten, bomen en struiken. En ook voor de productie van voedselgewassen worden grote hoeveelheden stekken, zaden en pootgoed over de wereld verslept.

Het risico dat schadelijke organismen meereizen, ligt altijd op de loer. De regelgeving van de EU is er dan ook op gericht om verspreiding van deze plantenbelagers zoveel mogelijk te voorkomen. Producten die komen van een land buiten de EU

of ernaartoe gaan, moeten daarom zijn voorzien van een fyto-sanitair certificaat, en binnen de EU is een plantenpaspoort verplicht. Dat garandeert dat de planten zijn opgekweekt onder gecontroleerde omstandigheden en vrij zijn van schadelijke organismen. Mocht er toch een probleem optreden, dan garandeert het document dat de mogelijke bron van de plantenbelager makkelijker te traceren is.

Merktaken

Zo'n paspoort is als het ware een merkteken dat zichtbaar is aangebracht op een handelspartij. Het is makkelijk te herkennen aan z'n vaste opmaak. De vlag van de EU staat erop, de botanische naam van de betreffende plant en een uniek fyto-sanitair registratienummer van het bedrijf dat de planten op de markt brengt. Vaak bevat een paspoort ook een partijnummer of traceringscode en altijd geeft het plantenpaspoort het land aan waar de planten zijn opgekweekt. Op basis van een tweecijferige landencode is makkelijk te zien of de planten in Nederland zijn geteeld of daarbuiten.

Alle planten die kunnen worden uitgeplant, opnieuw geplant kunnen worden of geplant kunnen blijven, zoals stekken en pootgoed, pot- en kamerplanten en tuin- en kuipplanten, moeten een paspoort hebben. Het document garandeert dat het bedrijf dat ze op de markt brengt, onder een inspectieregime van een keuringsdienst valt en dat het bedrijf bekend is met het weren en bestrijden van plantenbelagers. Zonder plantenpaspoort mogen producten niet worden verkocht aan andere ketenspelers. Nederlandse keuringsinstanties en de Nederlandse Voedsel- en Warenau-

Het plantenpaspoort is makkelijk te herkennen aan z'n vaste opmaak. Vaak zie je het nog op of in de potten zitten als je een plantje in de winkel koopt.



poort hebben



toriteit (NVWA) zien daarop toe. Winkeliers zijn vrijgesteld van de verplichting om een plantenpaspoort mee te leveren. Maar vaak zie je de paspoorten van de handelaar gewoon nog op de potten zitten als je een plantje in de winkel koopt. Planten die via internet worden verkocht, moeten weer wel een paspoort hebben.

Illegaal

Reizen planten binnen Europa zonder paspoort, dan zijn ze dus illegaal. Het is dan onduidelijk of ze gezond zijn, waardoor er risico kan zijn op verplaatsing van plantenbelagers naar andere landen

of regio's in de EU. Voor particuliere uitruil van planten is het plantenpaspoort nog niet verplicht, maar er wordt bij de Europese Commissie wel discussie gevoerd over de noodzaak en mogelijkheden ervan. Om burgers en hobbyisten bewust te maken van de risico's van de insleep van schadelijke organismen zet de EU campagnes op. De EU vraagt burgers daarin dringend om geen zaden of stekken mee te nemen als souvenir uit andere Europese lidstaten of uit landen buiten de EU.

**Met hightechgenetica, drones en
hulptroepen in de bodem breiden
onderzoekers het bewapeningsarsenaal
van de plant verder uit.**



Blik op de toekomst

Wetenschappers zoeken nieuwe manieren om de plantgezondheid in de toekomst te waarborgen. Genetici kunnen de plant steeds subtieler bewapenen door kleine wijzigingen in het erfelijk materiaal aan te brengen. Andere wetenschappers onderzoeken hoe de micro-organismen in de bodem de plant te hulp kunnen schieten. Ook zijn er geautomatiseerde systemen in ontwikkeling die de plantenbelagers in een vroeg stadium detecteren en bestrijden. Waarschijnlijk blijft er voldoende perspectief voor de boeren. Zeker als de overheid ervoor zorgt dat zij een betere prijs voor hun producten krijgen.

Doelgericht sleutelen aan de genen van de plant

■ DR. DIEUWERTJE VAN ESSE-VAN DER DOES

EEN VAN de meest cruciale ontdekkingen in de biologie is het DNA: het moleculair materiaal waarin alle informatie over de eigenschappen van een levend wezen opgeslagen ligt. Het DNA is opgebouwd uit genen, en elk gen bevat informatie over een klein stukje van wat er in een levend wezen, een organisme, moet gebeuren. Plantengenen bevatten informatie over onder andere het materiaal waar de stengel of stam van is gemaakt, welke kleur de bloemen hebben, onder welke omstandigheden de plant gaat bloeien en hoe de plant reageert op

het moment dat er een ziekteverwekker binnendringt.

Net als mensen hebben planten genen die ervoor verantwoordelijk zijn dat ziekteverwekkers herkend worden en dat er een gepaste afweerreactie kan volgen. In planten kan die afweerreactie bijvoorbeeld bestaan uit het maken van stoffen die de ziekteverwekkers doden, of die ervoor zorgen dat de geïnfecteerde plantencellen snel afsterven, waardoor de ziekteverwekker niet verder de plant in komt. Ook kan de plant ervoor zorgen dat de plantencelwand van structuur verandert, waardoor de ziekteverwekkers er moeilijker doorheen komen. De ziekteverwekkers hebben op hun beurt weer genen die het mogelijk maken dat ze zo ver mogelijk de plant in kunnen dringen zonder herkend te worden door het immuunsysteem van de



In Bangladesh telen boeren aubergine met daarin een gen van de bacterie *Bacillus thuringiensis*. De plant maakt nu zelf het kristaleiwit van de bacterie aan. De vruchten worden daardoor niet meer aangevreten door insecten.

plant. Planten die niet de juiste genen hebben voor herkenning en afweer, kunnen zo dus toch ten prooi vallen aan de ziekteverwekker. De technologische ontwikkelingen in het afgelopen decennium hebben ervoor gezorgd dat we de genetische code van zowel planten als hun ziekteverwekkers steeds makkelijker en sneller kunnen ontrafelen, waardoor we ook sneller in staat zijn om de genen die verantwoordelijk zijn voor de afweer te identificeren.

Bacterie-DNA

Door gebruik te maken van de bacterie *Agrobacterium tumefaciens*, die een stukje van zijn eigen DNA kan integreren in dat van de plant, zijn wetenschappers in staat om genen in planten-DNA in te bouwen: een proces dat genetische modificatie heet (GM). Op de plek in de bacterie waar normaal gesproken het stukje DNA zit dat wordt overgebracht naar de plant, kunnen wetenschappers genen naar keuze inbrengen, zodat de bacterie niet zijn eigen DNA in de plant zet, maar als het ware

een leverancier wordt van genen die wetenschappers in de plant willen zetten. Zo kunnen ziekteresistentiegenen van een wilde plant of een verwant plantenras worden ingebouwd in een cultuurgewas dat deze genen in de loop der tijd heeft verloren. Zo zijn bijvoorbeeld ziekteresistentiegenen uit wilde aardappelsoorten in een gecultiveerde aardappelsoort gezet om die soort te beschermen tegen de verwoestende aardappelziekte. Dit soort genen kunnen vaak ook door kruising en veredeling geïntroduceerd worden, maar dat kost veel meer tijd: jaren of zelfs tientallen jaren, afhankelijk van het gewas. Bovendien zijn sommige gewassen ongeschikt voor kruisingen, zoals de bananenplant. Genetische modificatie gaat snel: binnen een jaar kan een bestaand ras voorzien zijn van een extra gen. Bovendien kan men op die manier heel gemakkelijk meerdere resistentiegenen tegelijk introduceren, waardoor de plant beter en langer beschermd blijft en ook tegen meerdere verschillende ziekteverwekkers tegelijk beschermd kan worden.

Genetisch gemodificeerde aubergine en papaja

Niet alleen kunnen wetenschappers genen van de ene plant in de andere overzetten, ook kunnen zij door middel van genetische modificatie genen introduceren die uit andere organismen komen. Een voorbeeld is de bacterie *Bacillus thuringiensis* (Bt): die heeft genen die zorgen voor de productie van kristaleiwitten. Kristaleiwitten, die ook in de biologische bestrijding gebruikt worden, zijn schadelijk voor bepaalde groepen insecten, waardoor planten met ingebouwde Bt-genen resistent zijn tegen die insecten. De 'Bt brinjal' is een genetisch gemodificeerde aubergine die in Bangladesh verbouwd en gegeten wordt. Hij is dankzij een Bt-gen resistent tegen de vlinder *Leucinodes orbonalis* (fruit and shoot borer), die daar grote schade in aubergines veroorzaakt. Door de aanwezigheid van het Bt-gen kunnen de Bengaalse boeren deze groente verbou-

wen zonder grote hoeveelheden dure en schadelijke gewasbeschermingsmiddelen te hoeven spuiten.

Een andere mogelijkheid die genetische modificatie biedt in de strijd tegen plantenziekten, is het gericht inactiveren van genen van de ziekteverwekker. Deze aanpak is gebaseerd op een wijdverbreid mechanisme, genaamd RNA-interferentie (RNAi), dat onder natuurlijke omstandigheden de activiteit van genen in de plant controleert. Het werkt ook heel goed tegen virussen die voor hun genactiviteit en replicatie volledig afhankelijk zijn van hun gastheer. Met behulp van genetische modificatie wordt een gen van het virus in de plant geïntroduceerd. Op het moment dat het virus de plant aanvalt, treedt het RNAi-controlemechanisme in werking. De plant signaleert een te hoge activiteit van het betreffende gen en grijpt in. Het virus kan zich niet meer repliceren en de infectie stopt. Een mooi voorbeeld van een RNAi-benadering is de *Rainbow Papaya*, een papajaras dat op Hawaï geteeld wordt. Dit genetisch gemodificeerde ras is resistent tegen het papajaringvlekkenvirus. Dat heeft in de tweede helft van de twintigste eeuw de papajateelt op Hawaï gedeclineerd. Nadat eind twintigste eeuw de *Rainbow*

Papaya werd geïntroduceerd, is de papajateelt op Hawaï weer opgeleefd.

Het recent ontdekte 'genome editing'

Naast genetische modificatie bestaat er sinds 2012 het zogeheten *genome editing* (GE), een techniek die het mogelijk maakt om DNA op heel specifieke plaatsen te knippen, waardoor er op die plaats kleine stukjes uitgehaald of ingebracht kunnen worden. Een van de manieren waarop dat kan is met behulp van het zogenoemde CRISPR-Cas9 systeem. Sommige bacteriën maken daar van nature gebruik van om zich te verdedigen tegen binnendringende virussen. Ze herkennen het genetisch materiaal van het virus met behulp van de genetische code in hun CRISPR (segmenten van het bacteriële DNA) en knippen dat vervolgens in stukjes met het Cas9-enzym dat ze aanmaken. Zo schakelen ze de virussen uit. Wetenschappers hebben dit systeem ook weten in te zetten in planten, mensen en dieren om DNA op specifieke punten naar keuze te knippen. Het CRISPR-DNA kan dusdanig worden aangepast dat het een DNA-code naar keuze kan herkennen, en het Cas9-enzym doet vervolgens het knipwerk. Het voordeel van deze methode is dat de functie van bestaande genen heel subtiel veranderd kan worden. Je kunt kleine veranderingen (mutaties) aanbrengen die een gen inactief maken, of juist zorgen dat het beter werkt. Hoe meer we te weten komen over de werking van ziekteresistentiegenen, des te beter zullen we in staat zijn om met zulke doelgerichte veranderingen de werking van het immuunsysteem van de plant te optimaliseren.

Dichtbij en toch ver weg

Uit voorzorg hanteert de Europese Unie een zeer behoudende regelgeving ten aanzien van toepassing van dit soort technieken. In andere delen van de wereld zijn de regels soepeler: zo zijn in bijvoorbeeld Noord- en Zuid-Amerika, Zuid-Afrika

Met Crispr-Cas9 is het mogelijk om DNA heel subtiel te veranderen. Het wordt ook wel *genome editing* genoemd.



en Bangladesh meerdere genetisch gemodificeerde gewassen toegestaan op de markt. Daar is overigens uitvoerig veiligheidsonderzoek aan voorafgegaan. Het gevolg is dat het toch vaak een langdurig en kostbaar proces is om genetisch gemodificeerde gewassen op de markt te brengen, ook al verloopt het maken van de producten op zichzelf veel sneller dan via veredeling. De VS heeft besloten dat zo'n uitgebreid veiligheidsonderzoek niet nodig is, omdat uit onderzoek is gebleken dat *genome editing* geen andere effecten in een gewas teweegbrengt dan klassieke plantenveredeling. Dit maakt deze nieuwe technologie aantrekkelijk om te gebruiken voor gewasverbetering. Met *genome editing* kan echter niet precies hetzelfde bereikt worden als met genetische modificatie. De technieken vullen elkaar aan en zijn niet uitwisselbaar.

De moleculaire biologie biedt talloze oplossingen voor een betere beheersing van plantenziektes en plagen: met behulp van moleculaire technieken kunnen we bijvoorbeeld bananen beschermen tegen de verwoestende panama-ziekte, aardappels tegen de aardappelziekte, soja tegen de sojaroest, maïs tegen insectenplagen en graan tegen blad- en aarziekten. Deze oplossingen kunnen een langdurige bescherming bieden en zullen het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen sterk verminderen. De mogelijkheden worden alleen maar talrijker naarmate we met behulp van moleculaire technieken nog meer genen kunnen identificeren die bescherming bieden tegen ziekteverwekkers. Maar door de behoudende EU regelgeving ten aanzien van moleculaire technologie is brede toepassing ervan op dit moment nog ver weg.

Genetisch gemodificeerde gewassen in de EU

■ IR. HUIB DE VRIEND

Al meer dan dertig jaar is de toelating van genetische gemodificeerde gewassen en daarvan afgeleide producten op EU-niveau geregeld. Met uitzondering van enkele technieken die al langere tijd werden toegepast, mogen er geen experimenten met genetisch gemodificeerde organismen (ggo's) worden uitgevoerd en mogen ggo's niet in de handel worden gebracht, tenzij daarvoor een vergunning is verleend. Om zo'n vergunning te krijgen moet het ggo uitvoerig zijn getoetst op veiligheid voor milieu, mens en dier.

Voor het gebruik van ggo's in wetenschappelijk onderzoek gelden andere regels. De veiligheid van wetenschappelijke experimenten in laboratoria en kassen wordt op nationaal niveau getoetst; de procedures zijn in nationale wetgeving vastgelegd. De teelt, het in de handel brengen van ggo's en ggo-producten en de toelating worden op EU-niveau getoetst op veiligheid. Daarnaast kunnen de lidstaten op grond van andere overwegingen dan veiligheid beperkingen stellen aan de teelt van genetisch gemodificeerde (GM) gewassen.

In de EU wordt slechts één GM-gewas geteeld, en dan hoofdzakelijk in Spanje en Portugal: mais die met een gen van de bacterie *Bacillus thuringiensis* bestand is gemaakt tegen de rups van de schadelijke Europese maisboorder. Al meer dan twintig jaar blokkeert een groep Europese lidstaten de toelating van nieuwe GM-gewassen. Wél heeft de unie inmiddels voor zo'n zestig GM-gewassen een importvergunning verleend. Die worden in hoofdzaak in Noord- en Zuid-Amerika geteeld en hier gebruikt als

grondstof voor veevoer en in beperkte mate verwerkt in voeding.

Er is in de EU veel discussie geweest over nieuwe veredelingstechnieken, waaronder *genome editing*, het wijzigen van minieme stukjes DNA. De Europese Commissie liet zich onder meer adviseren door wetenschappers over het verschil tussen *genome editing* en klassieke veredeling. Het laatste woord was aan het Europese Hof van Justitie, de hoogste gerechtelijke instantie. Die oordeelde in 2018 dat *genome editing* vooralsnog op dezelfde wijze vergunningplichtig is als andere vormen van genetische modificatie.

De verantwoordelijke ministers van de lidstaten nemen uiteindelijk de besluiten over toelating van GM-gewassen in de EU. Deze besluiten zijn daarmee politiek van aard. Het is de verantwoordelijkheid van politici om alle maatschappelijk relevante waarden mee te nemen. In de afgelopen decennia zijn er tientallen onderzoeken verricht naar de opvattingen van burgers over GM en de toepassing ervan bij planten. Hieruit blijkt dat burgers naast veiligheid veel waarde hechten aan de bijdrage van GM-gewassen aan een duurzame landbouw zonder chemische middelen, keuzevrijheid en een eerlijke verdeling van lasten en lusten. Men vindt dat er ook ruimte moet zijn voor geventureerde productie. Verder is men bevreesd voor sterke machtsconcentraties bij grote bedrijven die boeren afhankelijk maken van hun zaden.

Schimmels en bacteriën helpen plant bij afweer

■ DR. ROELAND BERENDSEN EN DR. PETER BAKKER

PLANTEN WORDEN bewoond door miljarden bacteriën, schimmels en andere microscopisch kleine organismen. Deze micro-organismen leven op en in de boven- en ondergrondse delen van de plant. Met name rond het wortelstelsel, het deel van de plant dat we meestal niet zien.

De plant is een goede voedingsbodem voor micro-organismen vanwege de rijkdom aan suikers en andere koolstofverbindingen die hij met behulp van zonne-energie produceert. Het vastleggen van koolstof door fotosynthese is niet genoeg voor normale plantengroei: daarvoor zijn ook water en essentiële nutriënten als stikstof, fosfor, kalium en ijzer nodig, die de plant met zijn wortels uit de bodem haalt. Voor het efficiënt opnemen van deze voedingsstoffen uit de bodem maakt de plant uitbundig gebruik van de diensten van micro-organismen. Bekende voorbeelden zijn de zogenaamde mycorrhizaschimmels, die de plant voorzien van fosfor, stikstof en water, en de wortelknolletjes waarin bacteriën (*rhizobia*) stikstof uit de lucht vastleggen en overdragen aan de plant voor het maken van bruikbare stoffen, zoals eiwitten. In ruil voor deze diensten krijgen de micro-organismen koolstofverbindingen zoals suikers terug. Die ‘vergoeding’ kan oplopen tot wel 30 procent van de totale koolstofproductie van de plant. In het laagje grond net rondom de plantwortels, de zogenaamde rhizosfeer, is de dichtheid en activiteit van micro-organismen tien tot duizend maal hoger dan die in de omringende grond die niet onder invloed van de wortel staat.

Plantenmicrobioom

De term rhizosfeer werd al in 1904 gedefinieerd door de Duitse wetenschapper Lorentz Hiltner. Hij

doorzag dat de micro-organismen in de rhizosfeer een belangrijke rol spelen in de groei en gezondheid van de plant en voorzag dat gedetailleerde kennis ervan nuttig zou zijn voor de landbouw. Dit plantenmicrobioom – de microbiële gemeenschap met bijbehorende functies die gelieerd is aan een plant – wordt ook wel beschouwd als het tweede genoom van de plant. Sinds enkele decennia kijken wetenschappers hoe het van nut kan zijn in de landbouw. Kunnen de schimmels en bacteriën in de rhizosfeer een bijdrage leveren aan een gewasbescherming waarin chemische middelen een steeds minder prominente rol gaan spelen?

Naar schatting gaat wereldwijd 30 procent van de oogst verloren door ziekten en plagen. Dit ondanks het geavanceerde immuunsysteem van planten, waarmee ze kunnen reageren op aanvallen door plantenbelagers. Desondanks kunnen ze ziek worden of opgegeten, doordat afweerreacties te laat op gang komen of doordat de aanvallers de verdediging van de plant weten te omzeilen of saboteren. Ook kunnen plantenbelagers zich makkelijk verspreiden in een veld met veel identieke vatbare planten dicht opeen, hetgeen de ziektedruk verhoogt. Hier kan het microbioom waarschijnlijk een belangrijke rol spelen, als eerste verdedigingslinie tegen de belagers. Inmiddels is duidelijk dat bepaalde micro-organismen in de rhizosfeer in staat zijn om sommige in de bodem levende ziekteverwekkers effectief te onderdrukken. Dat kan het gevolg zijn van interacties tussen de goedaardige micro-organismen en de ziekteverwekkers, bijvoorbeeld concurrentie om ruimte en nutriënten of de productie van antibiotica. Daarnaast zijn er micro-organismen die de afweer van de plant tegen indringers kunnen verhogen. In dat geval spreken we van het opwekken van resistentie (ISR: inductie van systemische resistentie). Deze micro-organismen brengen de plant in verhoogde staat van paraatheid, waardoor zijn immuunsysteem veel sneller en effectiever reageert op een aanval.

Ziekteverende bodem

Voor de opbouw van een bodemmicrobioom dat de plant effectief beschermt, is eerst een uitbraak van ziekte nodig, zo is bij een aantal gewassen gebleken. Wordt bijvoorbeeld tarwe jaar na jaar op dezelfde akker geteeld, dan neemt de tarwehalmziekte (veroorzaakt door de schimmel *Gaeumannomyces graminis*) eerst toe, om na vier tot vijf jaar sterk af te nemen en daarna op een zeer laag niveau te blijven. Ook als de ziekteverwekker vervolgens kunstmatig aan de bodem wordt toegediend, worden de planten niet ziek: de bodem is hier ziekteverend geworden. Dat komt door de opbouw van een hoge populatiedichtheid van de bacterie *Pseudomonas*, die de ziekteverwekkende schimmel remt. Ze produceert het antibioticum 2,4-diacetylfloroglucinol, een stof die schimmelgroei remt. In suikerbiet komt een vergelijkbaar verschijnsel voor. Infectie met de schimmel *Rhizoctonia solani* leidt daar tot de ontwikkeling van een consortium van micro-organismen in de rhizosfeer dat de ziekte onderdrukt.

Maar niet alleen een infectie met bodemgebonden pathogenen kan een verandering in het microbioom rond de wortel teweegbrengen; ook een infectie in de bladeren kan dat. Dat bleek bij de zandraket *Arabidopsis thaliana*, een modelplant voor onderzoek aan interacties tussen planten en microben. De samenstelling van het microbioom rond de wortels veranderde na infectie van de bladeren door valse meeldauw. Ziekteonderdrukkende micro-organismen werden talrijker, en als ze geïsoleerd, vermeerderd en weer aan de bodem toegevoegd werden, waren ze in staat het immuunsysteem van de zandraket te activeren en de plant te beschermen tegen infectie met valse meeldauw. Het onderzoek toonde nog iets aan: als planten opgroeiden in grond waarin al eens eerder planten door valse meeldauw waren aangetast, waren ze beter beschermd tegen de ziekte. Na infectie van bovengrondse delen van de plant ontstaat er dus

een soort microbiële geheugen in de bodem, dat een volgende generatie planten helpt te beschermen tegen de ziekteverwekkers die de voorgaande generatie planten hebben aangetast.

Onderscheid tussen vrienden en vijanden

Rondom het microbioom zijn er nog tal van vragen. Hoe weet een plant welke van de miljoenen micro-organismen vrienden zijn en welke vijanden? Als een plant een microbiële vijand herkent (pathogeen virus, bacterie of schimmelachtige), activeert hij niet alleen zijn immuunsysteem, maar remt hij ook tijdelijk zijn groei – tenslotte moet hij zijn energie slim verdelen tussen verdediging en groei. Goedaardige bacteriën en schimmels zijn vaak moeilijk te onderscheiden van ziekteverwekkers, en elke onnodige activering van het afweersysteem leidt tot ongewenste remming van de groei. Kortgeleden is echter ontdekt dat veel goedaardige micro-organismen in het wortelmicrobioom specifiek het afweersysteem van de plant onderdrukken. Dat stelt ze in staat de plant succesvol te koloniseren zonder geremd te worden door zijn immuunsysteem. En daardoor kunnen ze hun beschermende functie uitoefenen zonder dat het ten koste gaat van de groei (en opbrengst) van de plant.

Specifieke stoffen die de plant uitscheidt bij stress, sturen de selectie van specifieke micro-organismen in de rhizosfeer die de plant helpen bij afweer. Het identificeren van die verbindingen opent mogelijkheden om tot nog gerichtere toepassingen te komen. Bijvoorbeeld door tijdens het veredelen plantenlijnen te selecteren die meer van deze natuurlijke stoffen uitscheiden en zo meer goedaardige micro-organismen uit de bodem rekruteren. De biologische gewasbescherming maakt nu al gebruik van een beperkt assortiment aan biologische middelen op basis van micro-organismen zoals mycorrhiza's, rhizobia, en *Trichoderma* en *Bacillus* soorten. Die bevorderen

Rechterpagina

Wortelmicrobioom: Van de koolstofbronnen die planten via fotosynthese aanmaken, scheiden ze tot wel 20 procent weer uit in de bodem, in de vorm van wortel-exsudaten. Dicht bij de wortel, in de rhizosfeer, beïnvloeden deze stoffen de samenstelling van de microbiële bodemgemeenschap. Goedaardige micro-organismen, zoals mycorrhiza-schimmels en stikstofbindende *Rhizobium* bacteriën, gaan een symbiose aan met de plant. Ook andere groeibevorderende en beschermende micro-organismen worden gelokt. Samen verbeteren ze de beschikbaarheid en opname van voedingsstoffen uit de bodem, en bieden ze bescherming tegen belagers zoals aaltjes, vraatinsecten, en pathogene schimmels en bacteriën.

de gezondheid van planten door de beschikbaarheid en opname van voedingsstoffen te verbeteren, ziekteverwekkers in de bodem te onderdrukken en het immuunsysteem van de plant te stimuleren. De huidige gewassen zijn echter niet of nauwelijks geselecteerd op eigenschappen die de interactie met dit soort goedaardige micro-organismen in het microbioom optimaliseren. Meer kennis van de interactie tussen plant en microbioom kan ons helpen de relatie van onze gewassen met hun natuurlijke microbiom te verbeteren. Ook veelbelovend zijn de beschermende micro-organismen die door specifieke gewassen gerekruteerd worden na een infectie. Mogelijk kunnen die ontwikkeld worden tot een microbiel 'personalized medicine', waardoor in de toekomst de noodzaak van chemische bestrijdingsmiddelen teruggedrongen kan worden.

Precisielandbouw

■ DRS. RICK VAN DE ZEDDE EN DR. ING. GERRIT POLDER

DETECTIE VAN plantenbelagers is van groot belang: pas als je weet wat de plant heeft, kun je er iets tegen doen. Hoe eerder ziektes en plagen worden gevonden, des te gemakkelijker is de bestrijding. Geautomatiseerde systemen gaan hierbij een steeds grotere rol spelen.

Ziektes bij planten automatisch detecteren, zo vroeg mogelijk en zonder de plant te beschadigen, begint steeds duidelijker vorm te krijgen in de land- en tuinbouw. De basis voor automatische detectie is dat een zieke plant er anders uitziet dan een gezonde. Zo kunnen bladeren subtiele kleurverschillen vertonen, vaak onzichtbaar voor het menselijk oog. Die kunnen worden vastgelegd met bijvoorbeeld spectrale beeldverwerking.

Honderden verschillende golflengtes

Een gewone camera legt het rode, groene en blauwe licht vast. Een spectrale camera maakt gebruik van honderden verschillende golflengtes en kan bovendien ook informatie vastleggen buiten het voor ons zichtbare spectrum. Zo ontstaat er een uiterst gedetailleerd beeld van de reflectie

Optima

In het EU-project OPTIMA wordt gewerkt aan een milieuvriendelijk systeem voor geïntegreerde gewasbescherming. Daarbij wordt gebruik gemaakt van biologische middelen, modellen die ziektes voorspellen, systemen die ziektes vroegtijdig detecteren met spectrale beelden, en technieken die heel nauwkeurig spuiten. OPTIMA gaat voorspellingsmodellen optimaliseren voor valse meeldauw in

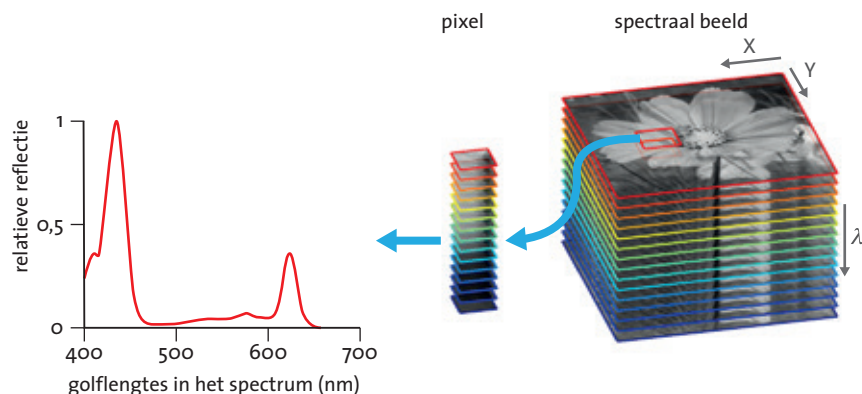
wijngaarden, schurft in appelboomgaarden en een *Alternaria* ziekte in de wortelteelt. Hiermee kan de ziekteverspreiding sneller in beeld worden gebracht. Geavanceerde vroege detectiemethoden op basis van spectrale beelden en 'deep learning'-technieken worden ontwikkeld voor het nauwkeurig lokaliseren en kwantificeren van de infecties.

van licht op planten of andere objecten, zodat minime verschillen in spectrale eigenschappen tussen zieke en gezonde bladeren gemeten kunnen worden. Dat levert veel informatie op: bijvoorbeeld over de plantpigmenten, suikers, eiwitten, vetten en het water in de bladeren, maar ook over afwijkingen van het normale patroon als gevolg van ziektes. Spectrale beeldverwerking kan dan ook een krachtig instrument worden voor ziektedetectie in kassen of op zelfrijdende trekkers.

Om een concreet voorbeeld te geven: virus- en bacterieziekten vormen een van de grootste problemen in de pootaardappelteelt. De directe schade van de bacteriële ziekte zwartbenigheid bedraagt zo'n 12 miljoen euro per jaar. Veel schade ontstaat doordat de ziekte te laat wordt ontdekt. Het tijdig detecteren van zieke planten met moderne optische visuele technieken kan de kosten dus flink drukken.

Laboratoriumexperimenten hebben aangetoond dat spectrale beelden in een vroeg stadium een duidelijk onderscheid maken tussen gezonde en geïnfecteerde aardappelplanten. Vervolgens is een cameraopstelling ontworpen die op een trekker is geplaatst om zieke planten op de akker te detecteren. De resultaten van de spectrale camera bleken nagenoeg gelijk aan de score van een gewasexpert.

Bij spectrale beeldverwerking bestaat elke pixel uit een reeks waarden die overeenkomen met de reflectie, emissie of transmissie bij een bepaalde golflengte.



Kunstmatige intelligentie

Bij de automatische detectie van plantenziekten met robots worden buitengewoon veel gegevens verzameld. Om die te verwerken is veel rekenkracht nodig. De brede toepassingen van kunstmatige intelligentie en de snelle toename in rekenkracht in andere domeinen, zoals autonoom rijdende auto's, spraakherkenning en internet, maken het mogelijk dat deze verzamelde data opgeslagen én snel doorgerekend worden. Nieuwe ontwikkelingen maken het nu ook mogelijk om zelflerende systemen te bouwen, die zijn geïnspireerd op het menselijk brein. Ze hebben net als onze hersenen een generieke structuur die een nieuwe toepassing leert door simpelweg naar voorbeelden te kijken. De uitdaging is vooral om representatieve voorbeelden te verzamelen om daarmee de systemen te trainen. In de afgelopen jaren is deze methodiek – ook wel 'deep learning' genoemd – in staat gebleken om flexibel om te gaan met nieuwe aanvullende data. Hierdoor kan een systeem dat grondig is getraind bij de ene teler ook ingezet worden bij andere telers. Het tonen van slechts een paar zieke planten met symptomen is voldoende voor het systeem om de ziekte te herkennen.

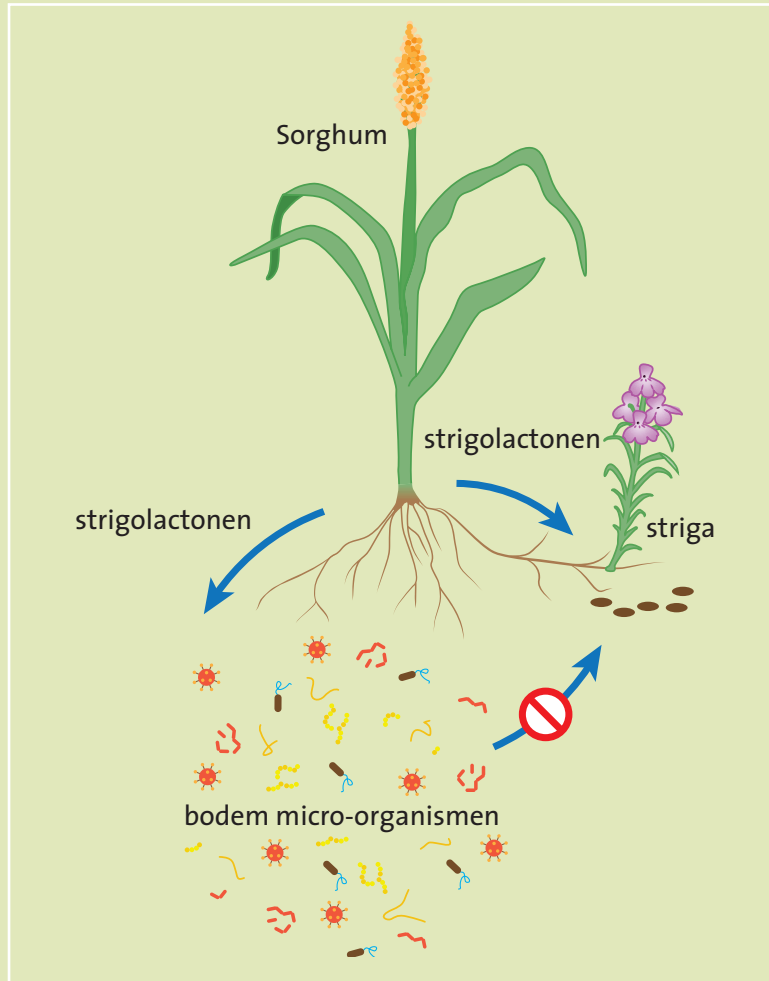
Voordeel van een automatische analyse is dat het gewas intensiever kan worden onderzocht en ook nog eens veel goedkoper is dan een gewasexpert.

Camera's naar de planten

Ook in de glastuinbouw kan spectrale beeldverwerking worden toegepast. Daarvoor moeten de camera's naar de planten worden gebracht via een voertuig of een bewegende brug. Ook kunnen planten naar de camera's worden gereden via lopende banden. In beide gevallen – 'plant-naar-sensor' of 'sensor-naar-plant' – kan zo'n spectrale camera in een meetsysteem worden geïntegreerd om te analyseren of er zieke planten in de kas zijn. Er wordt al technologie ontwikkeld om ziektes als botrytis, meeldauw en andere schimmelziektes te herkennen in tuinbouwgewassen als tomaat,

Vampierplanten

■ IR. DORIET WILLEMEN



De driehoeks-
verhouding tussen
striga, de gastheer-
plant sorghum en
micro-organismen in
de bodem.

In Afrika en Azië komt het voor dat oogsten volledig mislukken door het parasitaire onkruid striga. Deze uitzuiger groeit op de wortels van belangrijke voedselgewassen als sorghum, mais, gerst en rijst. Via een speciaal zuigorgaan, een haustorium, tapt de parasiet het vaatstelsel van de gastheer af en steelt alle water en

voedingsstoffen die hij nodig heeft. Hierdoor overleeft het gewas ternauwernood en levert het voor de boer weinig of niets meer op. Striga heeft een opvallende levenscyclus. Er bestaat een soort driehoeksverhouding tussen de striga, de gastheerplant en micro-organismen in de bodem. De wortels van de gast-

heerplant produceren strigolactonen, moleculen waarmee de plant schimmels en andere gunstige micro-organismen in de bodem lokt. De zaden van de striga zijn zo geëvolueerd dat ze deze signalen kunnen 'afluisteren', zodat ze weten wanneer er een gastheer in de buurt is. Pas op het moment dat er strigolactonen in de bodem verschijnen, gaan de strigazaden kiemen. Dat is noodzakelijk voor de parasiet, want de kiemplantjes zijn compleet afhankelijk van de gastheerplant. De eerste weken leeft het onkruid ondergronds op de wortel van zijn gastheerplant. Nadat het bovengronds is verschenen, kan het zelf suikers maken door fotosynthese, maar water en mineralen blijft het aan zijn slachtoffer onttrekken. Striga bloeit met paarse bloemen, waarna nieuwe zaden zich over de akker verspreiden. Een besmette akker is onbruikbaar, hetgeen kleine zelfvoorzienende boeren voor een groot probleem plaatst. In een internationaal onderzoeksproject, gefinancierd door de Bill & Melinda Gates Foundation, wordt gezocht naar een effectieve aanpak. In een proefopstelling zijn meer dan dertig soorten bacteriën en schimmels gevonden die het kiemen van strigazaden deels onderdrukken. Nu wordt onderzocht welke genen en moleculen verantwoordelijk zijn voor die onderdrukking. Uiteindelijk moet deze kennis leiden tot een methode om de interactie tussen de parasitaire striga en zijn gastheren in het veld te doorbreken.

Jappe Franke van Wageningen UR onderzoekt met een drone hoe diverse rassen van wintergerst erbij staan.



Ook drones kunnen zieke planten herkennen

komkommer, cyclamen en gerbera. Wageningen UR heeft onlangs het initiatief genomen om een hypermoderne kas te bouwen voor onderzoek naar de detectie van plantenziektes. De kas is onderdeel van het Netherlands Plant Eco-Phenotyping Centre (NPEC), gefinancierd door NWO en zal in 2021 beschikbaar komen voor wetenschappers en bedrijven.

Drones

Ook drones kunnen zieke planten herkennen. In één vlucht kunnen ze een groot landoppervlak analyseren en zo een ziekte in een gewas snel in beeld te brengen. Door meermalen per seizoen over een veld te vliegen, kan de ontwikkeling van het gewas gevolgd worden. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van kleurenbeelden, spectrale beeldverwerking en 3D-camera's.

Drones zijn vooral goed in het meten van de groenbedekking van een perceel. Voor detectie

van een groeiachterstand van het gewas is het nodig tijdens het groeiseizoen meerdere opnames te maken. Als de drone een groeiachterstand waarneemt, moet een specialist het veld in om na te gaan wat de oorzaak is. Dat kan een ziekte zijn, maar ook droogte of gebrek aan een voedingsstof.

In de toekomst zal de boer of tuinder al deze technieken kunnen gebruiken om de ontwikkeling van ziektes op zijn akkers of in zijn kas vroegtijdig te herkennen. Sproeimachines kunnen daarna heel gericht op het juiste moment, op de juiste plek en met exact de juiste dosering de ziektes bestrijden – de essentie van precisielandbouw.

En de boer ploegt voort

■ IR. ASTRID SMIT

DE DRUK op boeren om hun bedrijfsvoering te veranderen omwille van het milieu is groot. De overheid wil dat ze minder chemische gewasbeschermingsmiddelen gebruiken om ziekten en plagen te bestrijden, maar ondertussen moeten ze genoeg blijven produceren om voldoende winst te behalen. Kan de boer nog wel blijven boeren in Nederland?

Krijn Poppe, econoom bij Wageningen Economic Research, ziet zeker perspectief voor de landbouw in Nederland. 'Agrariërs willen heel graag in Nederland boeren. De grond is hier zeer vruchtbaar, ons klimaat is gunstig en de luchthavens en zeehavens van ons land behoren tot de grootste ter wereld. Bovendien is de daadkracht en concurrentiekracht van de agrarische sector bijzonder groot. Die kan wel tegen een stootje.'

Opschalen

Maar om die concurrentiekracht te behouden, zullen de boeren wel verder moeten opschalen, meent hij. Een veehouder heeft de laagste kostprijs bij 200 tot 250 koeien, terwijl hij er nu gemiddeld zo'n 95 heeft. Een akkerbouwer draait pas echt goed bij 80 hectare, afhankelijk van het bouwplan, terwijl hij nu gemiddeld 60 hectare heeft. Daarom is er ook een enorm gevecht om grond. Als een oudere boer zijn bedrijf verkoopt, staan jongere collega's gelijk te springen om de hectares over te nemen en bij hun eigen bedrijf te trekken.

Kleine boeren zullen het volgens hem moeilijk krijgen en het de komende jaren niet redden. Tenzij ze zich richten op een heel specifieke markt met korte ketens. Ze maken lokale producten zoals Texelse schapenkaas of Hoeksche chips, waar consumenten graag wat meer voor betalen. Of ze combineren hun boerenbedrijf met andere activi-

teiten zoals een zorgboerderij, een windmolen of een camping. 'Dat vergt overigens wel een ander soort vaardigheden, die niet iedere boer in huis heeft', zegt Poppe.

De verdere schaalvergroting die de econoom verwacht is niet alleen noodzakelijk voor een lagere kostprijs, maar ook voor het milieu. Voor het onderdrukken van ziekten en plagen zullen akkerbouwers een ruimer bouwplan moeten invoeren dan ze nu gemiddeld doen. Dus liever eens in de vijf jaar aardappels of suikerbieten op een perceel verbouwen dan eens in de drie jaar, en in de andere jaren tarwe, graszaad, erwten of een ander rustgewas. Dit rotatiesysteem put de grond minder uit en laat ziekteverwekkers uitdoven. 'En dan heb je meer areaal nodig om toch even veel geld te verdienen, want rustgewassen leveren meestal niet zo veel inkomsten op.'

In dat bouwplan kan de boer dan eventueel ook soja opnemen, zodat Nederland dat niet langer hoeft te importeren uit landen als Brazilië. Dat vermindert dus de druk op de tropische bossen. Poppe: 'Ook het telen van veevoer levert niet veel op, dus het zal nooit een belangrijke activiteit worden. Maar als rustgewas past soja goed.'

Precisielandbouw

Naast schaalvergroting verwacht Poppe ook een omschakeling naar precisielandbouw. Dat is waarschijnlijk een goed antwoord op de wens van de overheid om synthetische bestrijdingsmiddelen terug te dringen. De middelen worden dan veel nauwkeuriger toegediend en vervangen door kennis van ecologie, waarbij beslissingen worden genomen op basis van data verzameld door speciale camera's, drones en satellieten. 'We leren steeds meer over hoe planten en bodems werken en met elkaar interacteren. Daar gaat de boer binnen afzienbare tijd gebruik van maken op zijn bedrijf. De volle veldbespuitingen ver van de plant af gaan vervangen worden door heel gericht een beetje gifstof op het individuele gewas of onkruid.'



Om concurrentiekracht te behouden heeft de gemiddelde akkerbouwer in de toekomst meer areaal nodig. Schaalvergroting is onvermijdelijk, stelt landbouweconoom Krijn Poppe.

De overheid wil dat de boeren in 2030 definitief afscheid nemen van de chemische bestrijdingsmiddelen. Zal dat haalbaar zijn voor de boeren? 'Dat kan ik niet zeggen', aldus Poppe. 'Ik denk dat het toch handig is als ze bepaalde middelen achter de hand hebben, anders kan de schade te groot worden. Misschien hebben we net als bij de beheersing van het coronavirus ook voor plantenziekten een Outbreak Management Team nodig, met bestrijdingsmiddelen als redmiddel.'

Richting biologische landbouw

De landbouw in Europa schuift in het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen steeds meer op richting biologische landbouw. 'De opbrengsten van de biologische boer liggen nog wel achter bij die van de gangbare teelt, maar ze naderen elkaar steeds meer. De biologische landbouw in de Flevo-polder is de laatste dertig jaar toch een behoer-

lijk bloeiende sector geworden.' En als boeren en onderzoeksinstituten meer kennis krijgen van planten, hun interactie met ziekteverwekkers en de micro-organismen in de bodem, dan komen biologische en gangbare landbouw nog dichter bij elkaar, aldus Poppe.

Economisch zou het volgens hem ook uitkunnen zonder synthetische gewasbeschermingsmiddelen te boeren, met name als alle Europese landen dat tegelijk doen. Het voedsel wordt dan wel wat duurder, maar de winkelprijs van een voedselproduct wordt slechts in beperkte mate bepaald door de productiekosten op de boerderij. 'Een groot deel gaat zitten in verwerking, retail, marketing en transport.' Zo bedraagt de kostprijs van een kilo aardappelen of uien slechts 10 procent van de winkelprijs.

En dan daalt de kostprijs ook nog eens met 1 tot 1,5 procent per jaar doordat de boer steeds meer produceert per hectare, voegt Poppe toe. Die daling is de afgelopen decennia ten goede gekomen aan de consument. Daarom geven we geen 50 procent van ons inkomen meer aan voedsel uit, zoals nu nog in veel ontwikkelingslanden, maar nog maar 8 procent. Het lijkt de econoom een goed idee om vast te houden aan die 8 procent en de winst door de productiviteitsverbetering aan de boer te geven, zodat hij meer ruimte krijgt om wat extensiever te telen met bijvoorbeeld rustgewassen. 'Als econoom ben ik geen voorstander van het reguleren van prijzen. Maar de overheid kan hier wel sturen door eisen aan de bedrijfsvoering van boeren te stellen: rustgewassen verplicht stellen bijvoorbeeld, of bepaalde gewasbeschermingsmiddelen verbieden.'

Stadslandbouw en plantenziekten

■ DR. ESTHER VEEN, IR. JAN EELCO JANSMA, IR. TYCHO VERMEULEN EN PAULIEN VAN DE VLASAKKER MSc

STADSLANDBOUW – het produceren van voedsel in of om de stad – is al jaren populair. In hoeverre plantenziekten in de stadslandbouw een probleem zijn, of als zodanig worden ervaren, is dan ook een legitieme vraag. Het is echter belangrijk om te beseffen dat het begrip stadslandbouw wordt gebruikt om uiteenlopende praktijken mee aan te duiden: het kan gaan om volkstuinten en buurttuinen, high-tech verticale landbouw in kantoorgebouwen of boerderijen aan de rand van of in de stad. Zelfs iemand die in zijn achtertuin voedsel verbouwt, kunnen we zien als stadslandbouwer. Die verscheidenheid is terug te zien in de mate waarin plantenziekten een probleem vormen.

In buurttuinen is het verbouwen van groenten en fruit soms eerder middel dan doel. Tuinen kunnen zijn opgericht als gezamenlijke activiteit, om de buurt te vergroenen of om kinderen te laten zien hoe voedsel groeit. Of er veel of weinig oogst is, doet er dan vaak minder toe. Vaak worden er geen kunstmest of synthetische gewasbeschermingsmiddelen gebruikt en wordt er weinig gedaan aan het bestrijden van plantenziekten. Gebrek aan kennis kan daarbij een rol spelen. Uit onderzoek blijkt inderdaad dat plantenziekten voor buurttuinen vaak van ondergeschikt belang zijn. Problemen als gebrek aan leiderschap, onzekerheid over hoelang de grond gebruikt mag worden en buurtgenoten die niet achter het initiatief staan, wegen zwaarder.

Fanatieker zijn vaak de volkstuinters. Onkruiden, slakken en fytoftora, veroorzaker van de aardappelziekte, vormen voor sommigen van

hen een probleem. Om fytoftora te voorkomen mogen ze op sommige complexen geen aardappels verbouwen, of alleen in drie- tot vierjarige vruchtwisseling. Op andere complexen is chemische bestrijding toegestaan of zelfs verplicht. Hier is het dan ook niet ongebruikelijk dat er gespoten wordt zodra de aardappels opkomen. Toch zijn chemische bestrijdingsmiddelen minder gebruikelijk dan vroeger, mede omdat het gebruik ervan aan steeds striktere regelgeving onderhevig is.

Recent onderzoek in Almere heeft meer inzicht gegeven in de vraag hoe niet-commerciële stadslandbouwers plantenziekten ervaren. Deelnemers werden geënquêteerd over hun ervaring met het zelf verbouwen van voedsel. 393 mensen beantwoordden de vraag tegen welke problemen ze vooral aanlopen bij het verbouwen in de achtertuin, de buurttuin of de volkstuin. Plantenziekten eindigden op de derde plaats, na slakken en tijdgebrek. Maar een grote meerderheid van vier op de vijf respondenten liet weten geen problemen te ondervinden van plantenziekten.

Voor commerciële stadslandbouwinitiatieven is gewasbescherming wel erg belangrijk, vertelt de Wageningse bioloog Tycho Vermeulen, initiatiefnemer van de Haagse Stadswijngaard. Naast de verkoop van wijn verdient de Stadswijngaard voornamelijk aan deelnemers die druivenstokken huren en leren onderhouden. Voor de financiële basis en het plezier van de deelnemers is het productievolume van belang. Omdat deelnemers niet dagelijks tussen de druiven staan, wordt gewerkt met minder ziektegevoelige rassen en diverse teeltmaatregelen.



Plantenziekten zijn voor buurttuinen van ondergeschikt belang.

‘Om de schimmels meeldauw en botrytis tegen te gaan proberen we de druiven na regen snel te laten drogen. We toppen de planten, halen het blad rond de trossen weg en maaien het gras, zodat zon en wind tussen de planten komen. Tegen valse meeldauw kunnen we weinig doen, afgezien van grondig bladplukken om een beginnende infectie in te dammen. Voor schimmelbeheersing vragen we een wijnboer uit de buurt om biologisch te spuiten.’ Vermeulen vertelt dat insecten nauwelijks hoeven te worden bestreden omdat er voldoende natuurlijke vijanden zijn in de stad, vanwege het vele groen met extensief beheer. Wel worden netten gespannen tegen wespen. Toch moest in 2017 15 tot 20 procent van de rode druiven worden

weggegooid vanwege de Suzuki-fruitvlieg. ‘Wellicht dat we daarom in de toekomst een ras met een dikkere schil zullen telen. In 2015 was er veel oogstverlies door meeldauwinfectie, maar over het algemeen zijn onze druiven gespaard gebleven van ziekten en plagen. Dat komt ook, doordat we slechts duizend vierkante meter hebben in een gebied met een lage ziektedruk, relatief warme stadslucht en veel ziekte-arme zeewind,’ zegt Vermeulen.

Een recente ontwikkeling is groenteteelt in gebouwen, dikwijls met ledverlichting. Door de volledig gecontroleerde omgeving komen ziekten en plagen hier weinig voor. Wanneer de ruimte niet voldoende wordt afgesloten, is er wel kans op rouwvliegjes en bladluizen. En een hoge luchtvochtigheid in combinatie met weinig luchtcirculatie vergroot de kans op schimmel. Dit is te voorkomen door het teeltsysteem goed af te stellen, met een juiste temperatuur, luchtvochtigheid en luchtcirculatie.

Plantenziekten komen dus zeker voor in de stadslandbouw, maar door de kleine schaal, de relatief grote stedelijke biodiversiteit, de gecontroleerde omgeving in gebouwen en het feit dat een grote oogst niet altijd belangrijk is, worden ze in de praktijk nauwelijks als probleem ervaren.

Epiloog: Dansen met de natuur

■ EM. PROF. DR. ALLE BRUGGINK EN DRS. DIEDERIK VAN DER HOEVEN

WE MOGEN planten wel wat meer respecteren. Ruim 60 procent van de koolstof in het lijf van de gemiddelde Amerikaan is afkomstig van de maisplant. Meer dan 99 procent van het organisch materiaal op onze planeet is plantaardig. Van fossiel tot levend. Voor het gemak scharen we de micro-organismen nu ook even onder de noemer plantaardig.

Planten zijn belangrijke producenten van zuurstof en vormen direct of indirect onze energiebron. Pas sinds kort slaagt de mensheid erin bruikbare hoeveelheden energie te winnen zonder de tussenkomst van planten, en met hoger rendement: zon, wind en water. Planten zijn ook zelfvoorzienend: wij mensen krijgen allerlei ingrediënten als eiwitten in hoog gefunctionaliseerde vorm binnen. Planten maken ze uit anorganische stoffen.

Planten produceren hun ingewikkelde stoffen bovendien zonder afval. Chemici vervaardigen die stoffen vaak met een rendement van 1 procent of minder, resulterend in veel nutteloze of zelfs giftige bijproducten.

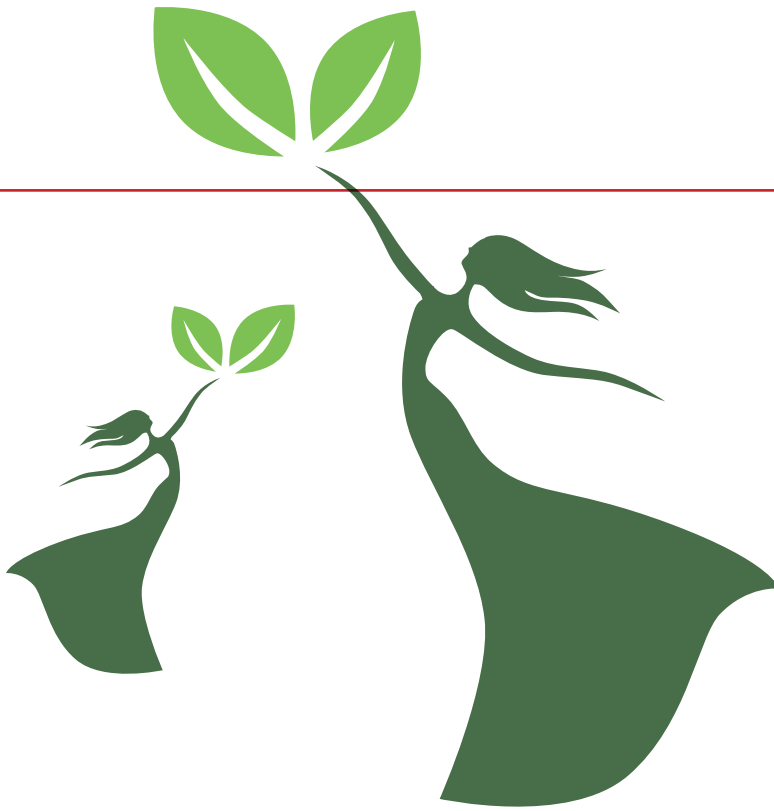
Maar ook met chemisch gezien eenvoudige moleculen zijn planten handiger dan wij. Neem aspirine, wereldwijd één van de meest verkochte pijnstillers. Het is gebaseerd op het plantenhormoon salicylzuur, dat vrijwel alle plantensoorten maken en dat een belangrijke rol speelt in de afweer tegen ziekteverwekkers. In het boek 'Briljant Groen' geven de Italiaanse hoogleraar biologie Stefano Mancuso en wetenschapsjournalist Alessandra Viola fantastische voorbeelden van planten die in de loop van de evolutie allerlei

slimme trucs hebben ontwikkeld. De acacia, die zijn nectar van een vleugje alkaloiden voorziet om mieren te drogeren, zodat ze continu bezig blijven de boom te beschermen tegen vraat door giraffes. Of de bekerplant *Nepenthes rajah* uit Kalimantan, die de boomspitsmuis die van zijn nectar snoept, pas laat gaan wanneer hij zijn mest – vol waardevolle stikstof – in de beker heeft gedeponneerd. En wat te denken van de Cubaanse liaan *Marcgravia evenia* die tijdens de bloei een blad in de vorm van een schotelantenne laat aangroeien om de overvliegende vlermuizen via echolocatie te vertellen wat er te halen valt.

Een beetje meer respect graag

Wij moeten de natuur wat meer respecteren. Weliswaar hebben we veel van onze welvaart te danken aan ingaan tegen de natuur: ongewenst leven bestrijden en doden. Dat heeft ervoor gezorgd dat we zeven miljard mensen kunnen voeden en dat onze gezondheid met sprongen vooruit is gegaan. Maar de tijd dat kunstmatig beter was dan natuurlijk is voorbij. De discussie over aanpassingen in onze omgang met de natuur komt op gang. Bij het energieprobleem hebben we er maar twintig jaar over gedaan om de koers te bepalen: zon, wind en water. En nu gaat het snel met voedsel. Minder vlees eten wordt de norm; insecten als basis voor ons voedsel worden langzaam aanvaard en vegetariërs en flexitariërs worden allang niet meer als zonderlingen beschouwd. Dat geeft ruimte, want de verspilling van energie en grondstoffen wordt daardoor veel kleiner. We kunnen planten genetisch aanpassen om ze efficiënt te laten groeien

De tijd dat kunstmatig beter was dan natuurlijk is voorbij



en weerbaar te maken tegen ziektes. Steeds meer komen we erachter dat de natuur genetische modificatie dagelijks toepast en dat het een mechanisme voor evolutie en overleven is. Onze weerstand tegen genetische aanpassingen is onnatuurlijk, om het maar eens uitdagend te zeggen.

Leren van de natuur

Trends in wetenschappelijk onderzoek zijn vaak richtingwijzers voor de maatschappij van de toekomst. En dé trend van dit moment is leren van de natuur! Onze inzichten in de natuur en hoe alles met alles samenhangt, nemen met sprongen toe. Dat geldt ook voor de moderne biotechnologie, met als voorlopig hoogstandje de bekende CRISPR-Cas-technieken, waarmee we genetische

codes subtiel kunnen aanpassen. Door onze snel toenemende kennis over de werking van de natuur kunnen we ziekten en plagen steeds meer bestrijden met natuurlijke methoden. Een benadering die in de kasteelt wordt vervolmaakt en ook in het veld steeds meer wordt toegepast. Vele moderne technieken komen hier bij elkaar: waarneming van het gewas met spectrale camera's, beeldanalyse met kunstmatige intelligentie, DNA-analyses waaruit de rijkdom en het belang van het bodemleven blijkt, bestrijding van plagen met natuurlijke vijanden, stimulering van biodiversiteit voor hogere landbouwopbrengsten. En het 'leren van de natuur' staat nog maar aan het begin.

We krijgen ook inzicht in de mechanismes achter genetische mutaties en de manier waarop de natuur haar materialen maakt. Van spinrag en zijde tot lijmen en plakken onder water. De computer maakt het ons mogelijk meerdere variabelen te overzien en te gebruiken in ons onderzoek. Eenvoudig gezegd: waar we dertig jaar geleden onze processen optimaliseerden door twee of drie factoren tegelijk te variëren, kunnen we er nu een stuk meer tegelijk aan. patroonherkenningstechnieken stellen ons in staat nog meer variabelen gelijktijdig te laten werken. Het blijven weliswaar benaderingen, waarin we de werking van de natuur nog steeds vereenvoudigen. Maar ze stellen ons wel in staat om de inzichten snel te vergroten en de resultaten van onze experimenten te toetsen aan de natuurlijke ontwikkelingen. Op die manier zijn we hopelijk in staat onze toekomst in te richten in een permanente interactie met de natuur. Samen optrekken, zoals in een Weense wals.

Auteurs en redactie

Dr. Peter Bakker is universitair docent bij de onderzoeksgroep 'Plant-Microbe-Interacties' van de Universiteit Utrecht.

Dr. Roeland Berendsen is wetenschappelijk medewerker bij de onderzoeksgroep 'Plant-Microbe-Interacties' van de Universiteit Utrecht.

Dr. Peter Bonants is senior-onderzoeker bij de business unit Bio-interacties en Plantgezondheid van Wageningen UR.

Em. prof. dr. Alle Bruggink was directeur Research en Development bij DSM en hoogleraar industriële organische chemie aan de Radboud Universiteit.

Prof. dr. Marcel Dicke is hoogleraar entomologie aan Wageningen UR.

Prof. dr. ir. André Drenth is hoogleraar tropische plantenziektenkunde aan de Universiteit van Queensland, Brisbane, Australië.

Dr. ir. Tonnie Engels is directeur van Linge Agroconsultancy, een adviesbureau gespecialiseerd in de toelating van gewasbeschermingsmiddelen, biociden en biostimulanten.

Dr. Dieuwertje van Esse-van der Does is programmamanager bij OpenPlant, een onderzoekscentrum voor synthetische biologie in Engeland.

Dr. ir. Dirk Jan van der Gaag is risicoanalist bij de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit NVWA.

Dr. ir. Suzan Gabriëls is onderzoeker bij de afdeling Plantenveredeling van Wageningen UR.

Dr. Charlotte Gommers is universitair docent bij het Laboratorium voor Plantenfysiologie van Wageningen UR.

Dr. ir. Jan-Kees Goud is docent bij de afdeling Plantenveredeling van Wageningen UR.

Prof. dr. ir. Francine Govers is persoonlijk hoogleraar fytopathologie bij Wageningen UR en bestuurslid van de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.

Drs. Diederik van der Hoeven is filosoof en wetenschapsjournalist.

Dr. ir. Nico Horn is directeur-generaal bij EPPO, de European and Mediterranean Plant Protection Organization.

Ir. Jan Eelco Jansma is onderzoeker Feeding the City bij Wageningen UR.

Dr. Martine Kos is universitair docent bij het Laboratorium voor Entomologie van Wageningen UR.

Dr. Jürgen Köhl is senior onderzoeker bij de Business Unit Bio-interacties en Plantgezondheid van Wageningen UR.

Dr. Renske Landeweert is Programma manager Plantgezondheid bij de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit NVWA.

Dr. ir. Gerard van Leeuwen is wetenschappelijk medewerker bij de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit NVWA.

Prof. dr. ir. Gerben Messelink is buitengewoon hoogleraar Biologische Plaagbestrijding in de Glastuinbouw bij Wageningen UR.

Prof. dr. ir. Liesje Mommer is persoonlijk hoogleraar Plantenecologie en Natuurbeheer bij Wageningen UR.

Prof. dr. ir. Corné Pieterse is hoogleraar Plant-Microbe Interacties en wetenschappelijk directeur van het Institute of Environmental Biology bij de Universiteit Utrecht.

Dr. ir. Joeke Postma is senior onderzoeker bij de Business Unit Bio-interacties en Plantgezondheid van Wageningen UR.

Dr. ing. Gerrit Polder is onderzoeker bij de Business Unit Glastuinbouw van Wageningen UR.

Prof. dr. Andy Nelson is hoogleraar Remote Sensing voor Landbouw en Voedselzekerheid aan de Universiteit Twente.

Prof. dr. Jelle Reumer is hoogleraar vertebraten paleontologie aan de Universiteit Utrecht, voormalig directeur van het Natuur Historisch Museum in Rotterdam en bestuurslid van de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.

Dr. ir. Walter Rossing is universitair hoofddocent bij Farming System Ecology van Wageningen UR.

Ir. Astrid Smit, wetenschapsjournalist, specialisatie: levenswetenschappen.

Dr. ir. Iris Stuhlemeijer is teamleider Onderzoek en Ontwikkeling bij de Stichting Bloembollen Keuringsdienst in Lisse.

Dr. ir. Aad Termorshuizen is eigenaar van Aad Termorshuizen Consultancy, een adviesbureau voor bodemkwaliteit en plantenpathogenen.

Dr. Esther Veen is universitair docent bij Rurale Sociologie van Wageningen UR.

Ir. Tycho Vermeulen is initiatiefnemer van de Haagse stadswijngaard en senior inspecteur bij

de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit NVWA.

Paulien van de Vlasakker MSc is oprichter van Vegger – een bedrijf voor Indoor Gardening.

Dr. Bart van den Vossen, molecuair biologoog bij de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, NVWA.

Ir. Huib de Vriend is eigenaar van LIS-consult, een adviesbureau voor de toepassing van kennis en technologie in de maatschappij.

Dr. Irene Vroegop is agronomist bij het bedrijf Stadium Grow Lighting.

Ir. Doriet Willemen is hoofdredacteur van Gewasbescherming, het verenigingsblad van de Koninklijke Nederlandse Plantenziektkundige Vereniging.

Prof. dr. Ernst Woltering is buitengewoon hoogleraar Productfysiologie en Productkwaliteit bij Wageningen UR.

Drs. Rick van de Zedde is onderzoeker en business developer bij de Plant Sciences Group van Wageningen UR.

Geïnterviewden

Drs. Krijn Poppe, business developer bij Wageningen Economic Research van Wageningen UR.

Ing. Jolanda Wijsmuller, manager biologics bij Bayer Crop Science.

Meer informatie

Websites

Over het Internationaal Jaar van de

Plantgezondheid is meer te lezen op:

<http://www.fao.org/plant-health-2020/about/en/>

Voor scholieren en docenten van middelbare scholen is er een speciale site over planten in het algemeen en plantenziekten in het bijzonder:

<https://www.plantenziektekunde.nl>

De Koninklijke Nederlandse Plantenziektekundige Vereniging geeft het tijdschrift

Gewasbescherming uit, dat is te downloaden

via deze link: [https://knpv.org/nl/menu/](https://knpv.org/nl/menu/Gewasbescherming/Het-verenigingsblad)

[Gewasbescherming/Het-verenigingsblad](https://knpv.org/nl/menu/Gewasbescherming/Het-verenigingsblad)

Over voedsel en groen is veel informatie te vinden

op Groen Kennisnet, een kennisplatform voor de groene sector: agrarische ondernemers, docenten en studenten in het groen onderwijs.

Ook voor leken valt hier veel interessante informatie te halen: www.groenkennisnet.nl

Toegankelijke kennis over plantparasieten in

Europa (bladmeeërders, gallen en schimmels) is te vinden op: www.bladmeeërders.nl

In de bomenbieb kun je alles lezen over

boomsoorten en boomziekten. Voor iedereen met interesse in bomen: www.bomenbieb.nl

Ook de site van de Amerikaanse Vereniging voor

Fytopathologie (American Phytopathological Society) biedt veel informatie voor het

onderwijs: www.apsnet.org

Informatie van de overheid over wetgeving

en regelingen voor planten, plantaardige producten, plantenziekten en plagen is te vinden

op de site van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA): www.nvwa.nl

Het College voor de toelating van

gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Cgtb) beoordeelt, voordat ze mogen worden verkocht, of gewasbeschermingsmiddelen en biociden veilig zijn voor mens, dier en milieu:

www.ctgb.nl

Op Europees niveau zijn de European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) en de European Food Safety Authority (EFSA) actief op het gebied van advisering en regelgeving voor plantgezondheid:

www.eppo.int en www.efsa.europa.eu

Video's

Over Europees onderzoek naar biologische

bestrijding: <https://www.youtube.com/watch?v=OrMKHhb6jgs>

Over het Internationaal Jaar van de Plantgezondheid:

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLzp5NgJ2-dK4cmV7gTSNPk6y6V9AAr52q>

Boeken

'Briljant Groen - de intelligentie van planten', Stefano Mancuso en Alessandra Viola. Uitgeverij Cossee, Amsterdam, 2017.

'Natuurlijk! Logisch. Hoe de natuur ons steeds weer voor verrassingen stelt', Alle Bruggink en Diederik van der Hoeven. Biobased Press, Amsterdam, 2019.

Illustratieverantwoording

'Het verleden van onze toekomst - kroniek van de Koninklijke Nederlandse Plantenziektkundige Vereniging', Jacques Horsten. 2016. Uitgegeven ter gelegenheid van het 125-jarig bestaan van de KNPV. <https://www.knpv.org/nl/menu/Over-de-KNPV/Introductie/Kroniek>

Cover: Shutterstock

Roel Dijkstra Fotografie / Foto: Joep van der Pal: p. 4
FAO / Verenigde Naties, Rome: p. 5

123RF: p. 6, 15 rechtsonder, 91

Shutterstock: p. 8, 37, 38

Imageselect, Wassenaar: p. 11, 30, 45, 53, 54

Art Wagner / USDA-APHIS / Bugwood.org (CC BY 3.0 US): p. 12

Jos van den Broek, Leiden (foto's van boven naar beneden: USDA-ARS (CC-BY 3.0); Assy / Pixabay.com / Needpix.com; Paul Bachi / University of Kentucky Research and Education Center / Bugwood.org (CC-BY-NC 3.0); Rupert Anand Yumlembam / ICAR Research Complex for North Eastern Hill Region, Manipur, India / Bugwood.org (CC-BY 3.0); Missouri Botanical Garden): p. 13

Reprinted from Plant Pathology, 5th edition, George N. Agrios, chapter 1, Page 7, ©2020, with permission from Elsevier: p. 14

Hans Smid / Bugsinthepicture.com: p. 15
linksboven, 21

Guido van den Ackerveken / Utrecht University: p. 16 linksboven en rechtsonder

Hanny van Megen / Laboratorium voor Nematologie, Wageningen Universiteit: p. 17
linksboven

Ton Rulkens / Wikimedia Commons (CC-BY-SA): p. 17 rechtsboven

iStockphoto: p. 19, 34, 46-47, 48, 68, 73, 74, 77, 87

André Drenth / The University of Queensland: p. 20

F1K9 / f1-k9.com: p. 22

Wageningen UR, BU Biointeracties & Plantgezondheid: p. 25
 Sven Torfinn / FAO: p. 26
 Andy Nelson / TU Twente (first published in Nature Ecology and Evolution, <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>): p. 27, 28
 Frank Greiner / B en U, Amsterdam: p. 29
 Herman Sittrop Grafisch Realisatie Bureau, Rotterdam: p. 31 rechts, 84
 Marcel Wenneker / WUR: p. 31 links (2x)
 Lisette Bakker: p. 32-33
 Jan-Kees Goud / WUR: p. 40 linksmidden en rechtsmidden (naar: Dodds and Rathjen 2010, Nature Reviews Genetics), 42 (naar: Dr. Ravi P. Singh / CIMMYT, Mexico)
 Sophien Kamoun / The Sainsbury Laboratory: p. 40 linksboven en rechtsboven
 Yan Wang / WUR en NAU: p. 40 linksonder
 Vivianne Vleeshouwers / WUR: p. 40 rechtsonder
 Subiet / Wikimedia Commons: p. 41
 BASF SE: p. 43
 Norton Simon Museum, Pasadena, CA: p. 44
 VidiPhoto / Hollandse Hoogte, Den Haag: p. 50
 Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS): p. 51
 Wageningen University & Research: p. 55
 J.IJ. van Vliet / Universiteitsmuseum Utrecht (reg.nr. 0285-145537): p. 57
 BKD: p. 58
 Dreamstime: p. 60, 63
 EPPO Global Database: p. 61, 62
 NVWA: p. 65, 69
 Adobe Stock: p. 66, 70
 B.T.L.H. van de Vossenbergh, NVWA: p. 71
 R. Landeweert, NVWA: p. 72
 Depositphotos: p. 76
 Nicole van Dam / infographic: Kimberly Falk: p. 81
 Gerrit Polder / WUR (CC-BY): p. 83
 WUR-UARSF: p. 85
 David Rozing / Hollandse Hoogte, Den Haag: p. 89

Dit cahier is mede tot stand gekomen door:



In dit nummer:

- › **Ziekteverwekkers en hun trukendozen**
- › **Planten wapenen met een weerbare omgeving en resistentiegenen**
- › **Gewassen beschermen met chemie en biologie**
- › **Planten die worden verhandeld, hebben ook een paspoort nodig**
- › **Toekomst: hightechlandbouw en leren van de natuur**

Redactie:

Francine Govers

Corné Pieterse

Aad Termorshuizen

Astrid Smit

Met een voorwoord van Marjolijn Sonnema,
Directeur-generaal Agro bij het ministerie
van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

**BEKIJK
DIT THEMA
OP ONZE
WEBSITE**

 **bio** wetenschap+
maatschappij



Het lijkt zo vanzelfsprekend: gezonde gewassen op de akkers, bloeiende bomen in de parken en prachtige siergewassen in de kassen. Dat ziekteverwekkers en insecten hen voortdurend belagen, vergeten we wel eens. Toch gaat nog altijd een derde van de oogst verloren door deze plantenbelagers, leggen veel essen het loodje en moeten tuinders moeite doen om hun gewassen vitaal te houden.

De plantgezondheid wordt continu bewaakt. Door de plantenbelagers vóór te zijn en ze te bestrijden als ze onverhoopt toch opduiken. Nu vooral met chemische middelen, straks genieten biologische oplossingen de voorkeur. Leren van de natuur is het motto, in combinatie met hightech-oplossingen zoals drones die gewassen in de gaten houden en robots die alleen de belaagde plant bespuiten.

De globalisering maakt het er niet makkelijker op. Ook plantenbelagers nemen het vliegtuig en kunnen overspringen van het ene naar het andere continent. Neem *Xylella*, de bacterie die de olijfbomen in Zuid-Europa ernstig aantast, of de panamaziekte die de bananenteelt wereldwijd bedreigt.

De Verenigde Naties hebben 2020 uitgeroepen tot het Internationaal Jaar van de Plantgezondheid om ons bewust te maken van de inspanningen die nodig zijn om te voorkomen dat planten ziek worden. In dit cahier vertellen deskundigen wat daar bij komt kijken. Na lezing kijkt u waarschijnlijk anders naar de schappen met verse groente en fruit in de supermarkt.

