

*De basis onder ons bestaan*

# Leve(n)de bodem!

BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ  
KWARTAAL 3 2016



# Leve(n)de bodem!

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. W.P.M. Hoekstra  
(penningmeester)  
Dr. L.H.K. Defize  
Prof. dr. J.T. van Dissel  
Prof. dr. E. van Donk  
Prof. dr. W.A. van Gool  
Prof. dr. ir. F.P.M. Govers  
Prof. dr. B.C.J. Hamel  
Dr. M.A. van der Hoven  
Prof. dr. C.L. Mummery

## RAAD VAN ADVIES

Prof. dr. P. van Aken  
Prof. dr. J. van den Broek  
Prof. dr. J.P.M. Geraedts  
Prof. dr. J.A. Knottnerus  
Prof. dr. J. Osse  
Prof. dr. E. Schrotten

## REDACTIE

Prof. dr. L. Brussaard  
Prof. dr. ir. F.P.M. Govers  
Ir. R.M. Buiten (eindredactie)

## BUREAU

Drs. Rianne Blok  
Monique Verheij

## BEELDREDACTIE

B en U international picture  
service, Amsterdam

## VORMGEVING

Studio Bassa, Culemborg

## DRUK

Drukkerij Tesink, Zutphen

## INFORMATIE,

## ABONNEMENTEN EN

## BESTELLEN LOSSE NUMMERS

Stichting Bioweten-  
schappen en Maatschappij  
Laan van Nieuw Oost-Indië  
334  
2593 CE Den Haag  
telefoon: 070-34 95 402  
e-mail: info@biomaat-  
schappij.nl  
www.biomaatschappij.nl

© Stichting BWM  
ISBN 978-90-73196-83-4  
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.



Biowetenschappen  
en Maatschappij

# Inhoud

- Voorwoord door Cees Veerman 2  
Inleiding: De bodem leeft 4
- 1 Zwarte aarde in de Amazone 7**  
Ontstaan van zwarte aarde 13  
De *cast*: alle beesten uit de bodem 16
- 2 Bodemverbeterende landbouw 21**  
Bodemverbeterende maatregelen 24  
Veredelaar moet ondergronds 32  
'En de boer, hij ploegde niet langer voort' 34
- 3 Bodemgezondheid 37**  
Laat de bodem het zelf doen 40  
Effecten van antiparasitaire middelen op bodemdieren 43  
Ziektewering in de praktijk 48
- 4 Een gezonde economie op een gezonde bodem 51**  
Vier keer winst bij herstel van landschappen 54  
De bodem onder stadslandbouw 58
- 5 De vingerafdruk van de bodem 61**  
Het microbioom van een gezonde bodem 66  
'Bodemtransplantatie geeft nieuwe natuur zetje in goede richting' 68
- 6 Tech uit de grond 71**  
Bron van antibiotica 74  
Bodem wordt batterij 77  
Landbouwtch zónder grond 80
- Epiloog: Grond voor inspiratie 82
- Nadere informatie 85  
Auteurs 86  
Illustratieverantwoording 88

## Voorwoord

**E**EN OUDE boerenwijsheid zegt dat wanneer je als boer goed bent voor de grond, de grond goed zal zijn voor jou. Dat klinkt als een eerlijke overeenkomst tussen gelijkwaardige partijen. Toch wringt daar iets in de praktijk. De boer is als actieve partij tevens de beheersende factor. De bodem is afhankelijk van het beheer van de boer – of welke ‘bovengrondse’ beheerder dan ook – en kan zich hooguit aanpassen aan de gevolgen van zijn (niet) handelen.

Oorspronkelijk zal de betekenis van deze boerenwijsheid vooral een praktische en ervaringsachtergrond hebben gehad. Praktisch, omdat het op de lange duur een beter resultaat geeft in technisch-economische zin, of omdat het ecologische kwaliteit oplevert. Het is een goede ‘ruil’: voor wat, hoort blijkbaar wat. De ervaring van vele jaren en van meerdere vormen van beheer en gebruik leveren tenslotte een belangrijk inzicht: de wederzijdse afhankelijkheid die uit het gezegde spreekt.

Maar even terug naar de begingedachte van een overeenkomst tussen mens en bodem. De ongelijkwaardigheid van de partijen stelt hier een ethisch vraagstuk aan de orde. Los van het praktisch-verstandige van goed grondgebruik, is de vraag relevant of de mens (zowel de boer als de consument) niet ten principale als ‘contractpartij’ de plicht heeft om in zijn handelen (of niet handelen) de eigen waarden van de bodem te respecteren. Moeten we de voorwaarden waaronder een duurzame relatie en een goede verstandhouding tussen mens en bodem bestaan niet

eerbiedigen en de waarden van de andere partij erkennen? In deze visie is de grondgebruiker of beheerder een natuurlijke partner tot beider nut. Deze zienswijze plaatst de mens als het ware niet langer boven de natuur, maar er middenin. Dat leidt tot een fundamenteel andere houding van de mens tot de bodem en het bodemleven. Het vraagt om een andere verhouding in de zin van waardering en respect, verbonden met zorgzaamheid en prudentie.

De verbazing over de onvoorstelbare talrijkheid van de kleine en allerkleinste vormen van leven in de bodem, moet ons als verantwoordelijke mensen tot het blijde besef brengen dat we, hoe verschillend ook, deelgenoten zijn in het grote wonder van een enorme keten van levensvormen. Inderdaad: wanneer je goed bent voor de grond, zal de grond goed zijn voor jou. Omdat we evenwaardige partners zijn en omdat de adel ons verplicht gelijkwaardige partners te willen blijven. Dat is het beginsel van goed beheer en gebruik.

Hoogleraar Lijbert Brussaard, een van de redacteuren van dit cahier, en ik komen uit de Hoeksche Waard, het eiland onder Rotterdam. Daar waar de klei vet is in november, uitrust in december en weerbarstig is in het voorjaar na een winter zonder vorst. Een prachtig landbouwgebied, vruchtbaar, efficiënt en goed verkaveld. Alles om goed te kunnen boeren is er. Het dagelijkse wetenschappelijk werk van Lijbert op het gebied van de bodem is van grote waarde voor de boeren, ook in onze geboortestreek. Het bepaalt de boer bij de oude boerenwijsheid die ik citeerde. Zijn



wetenschappelijke bijdragen vormen de degelijke onderbouwing ervan.

Naast de ethische invalshoek die ik in het bovenstaande heb gekozen, is zijn werk de bevestiging van de stelling dat elke wetenschappelijke bijdrage in essentie ook een ethische grondslag moet hebben en – hoe verborgen soms ook – naar mijn mening altijd heeft. En dat is goed, want ook de wetenschapper is een verantwoordelijk mens. In dit cahier dat op zijn initiatief is samengesteld, treft de lezer een goede dwarsdoorsnede van de stand van de wetenschap op het gebied van de levende bodem. Een ieder die gelooft dat – of wil weten waarom – de mens en de bodem in wederzijdse afhankelijkheid leven, beveel ik dit cahier van harte aan!

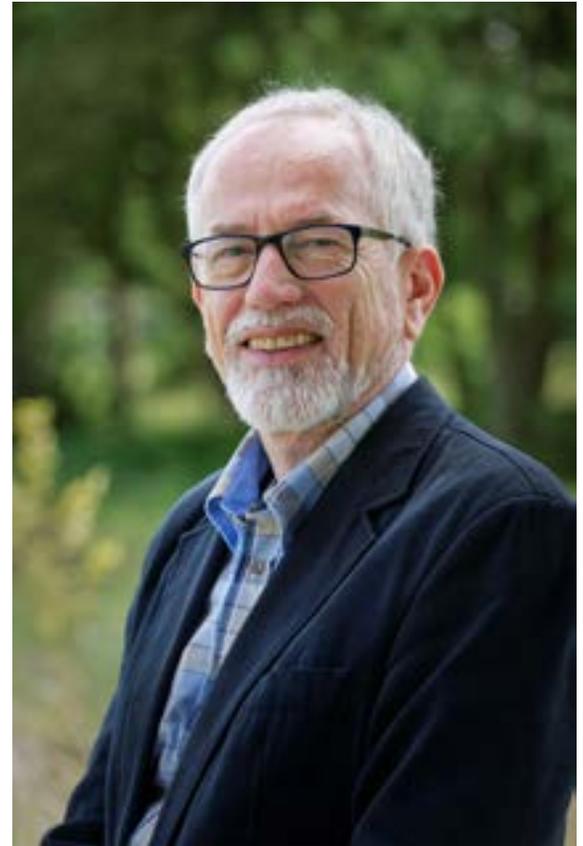
*Professor Cees Veerman*  
Oud-minister van Landbouw, Natuurbeheer  
en Visserij

## Inleiding: De bodem leeft

**H**ET JAAR 2015 was het 'Internationale Jaar van de Bodem', uitgeroepen door de Algemene Vergadering van de Verenigde Naties. Het doel was 'het bewustzijn en het begrip te verhogen van het belang van de bodem voor voedselzekerheid en essentiële ecosysteemdiensten'. Die ecosysteemdiensten die (mede) gebaseerd zijn op het goede functioneren van de bodem, zijn hiernaast in beeld gebracht.

De VN noemde de voedselzekerheid als eerste prioriteit. Het was dan ook logisch dat de vormgeving van dit 'Jaar van ...' werd opgedragen aan de Voedsel- en Landbouworganisatie van de VN, de FAO. Maar op de website van de FAO (<http://www.fao.org/soils-2015/en/>) valt te lezen dat het om veel meer ging dan de voedselzekerheid alleen. Ook de instandhouding van essentiële ecosysteemdiensten, maatregelen rond klimaatverandering, bereiken van de duurzame ontwikkelingsdoelen van de VN en – niet in de laatste plaats – onderwijs speelden een belangrijke rol in het bodemjaar. Duurzaam bodembeheer en de noodzaak om veranderingen in bodems te monitoren stond – en staat – voorop. Ook in Nederland heeft dit geleid tot een indrukwekkende reeks van activiteiten.

Al in 2006 was de toenmalige Commissie van de Europese Gemeenschappen met het voorstel gekomen een Europese Kaderrichtlijn Bodem uit te vaardigen. Daarmee wilde de EU een aantal bedreigingen van de bodem het hoofd te bieden. Dat voorstel heeft het niet gehaald, omdat volgens enkele landen, waaronder Nederland, bodembescherming een nationale aangelegenheid zou zijn. Problemen met de bodem zijn er wél; die gaan we



in dit cahier ook benoemen. We bezien ze evenwel vanuit de kennis die mogelijkheden biedt om de bodem te bewonen, bewerken en bewaren, zonder de grond onder onze voeten te verliezen. En dat is niet alles: er doen zich kansen voor om met nieuwe kennis meer gebruik te maken van wat de levende bodem kan bieden, zoals antibiotica, stroom, reinigend vermogen en nieuwe natuur. Daar is

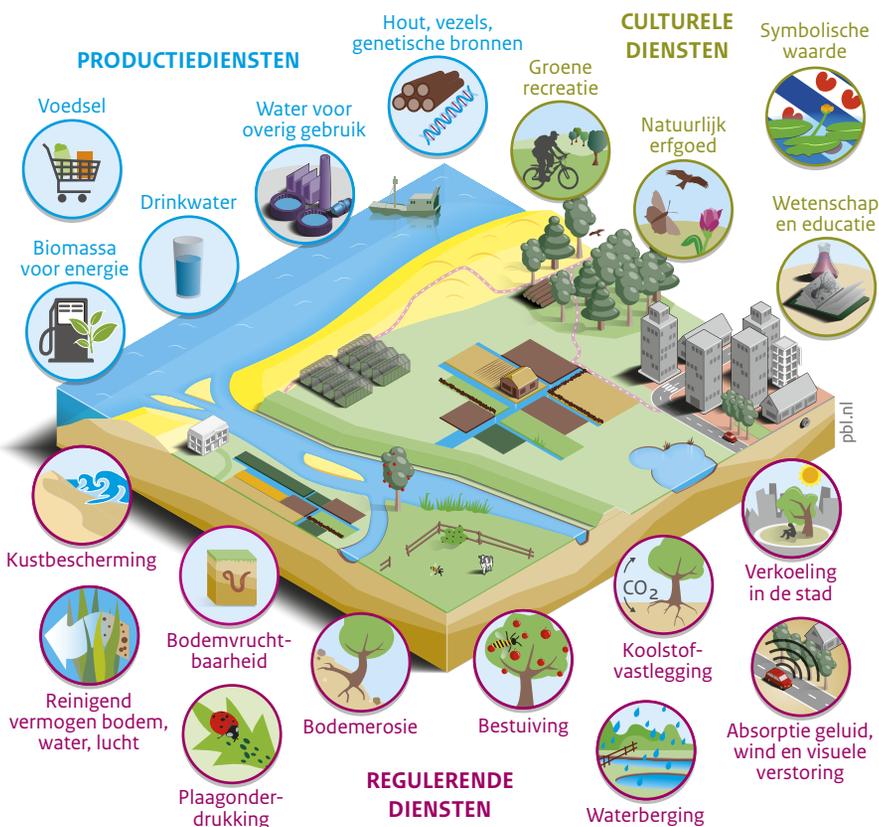
toenemende interesse voor. Ook in die zin geldt: de bodem lééft.

Dit cahier is opgebouwd uit 6 hoofdstukken, die de positieve insteek van *Leve(n)de bodem!* belichten. Het eerste hoofdstuk laat zien in hoeverre zwarte, vruchtbare bodems maakbaar zijn. Het tweede en derde hoofdstuk verkennen in hoeverre de landbouw de sleutel in handen heeft tot herstel van bodems die door uitputting, erosie, of het optreden van ziekten en plagen zijn gedegradeerd. Dat herstel speelt ook een belangrijke rol in het vierde hoofdstuk, over de mogelijkheden om een gezonde economie met een gezonde bodem te combineren. De laatste twee hoofdstukken kijken naar de technische mogelijkheden: wat leert de modernste technologie uit de genetica ons over de tienduizenden bodemorganismen in een hapje grond, en wat kan de bodem zelf ons aan technologie bieden?

De hoofdstukken worden gelardeerd met feiten en verhalen die uitlichten welke initiatieven er leven om te 'doorgronden' wat er gaande is én mogelijk is met de levende bodem. We hopen dat dat weer grond biedt voor nieuwe inspiratie.

*Namens de redactie: professor Lijbert Brussaard*

## Voorbeelden van ecosystemediensten in Nederland



Voorbeelden van ecosystemediensten in het landschap.

An aerial photograph of a river meandering through a dense, lush green forest. The river is a light brownish-green color, contrasting with the dark green of the trees. The river's path is highly irregular, with several sharp turns and loops. The forest appears thick and continuous, with no visible roads or clearings.

**Bij het lemma 'bodem' geven woordenboek en encyclopedie een lange lijst met letterlijke en metaforische betekenissen. Voor een bruikbare definitie van vruchtbare bodem in de wetenschappelijke zin, reist de Wageningse hoogleraar bodemkwaliteit Thomas Kuyper terug in de tijd, naar de eerste bewoners van Zuid-Amerika. Zwarte aarde blijkt een menselijke uitvinding!**

# Zwarte aarde in de Amazone

■ PROFESSOR THOMAS KUYPER

**W**AT IS het Amazonegebied? Is het het grootste ongestoorde regenbos ter wereld, of is het vooral het grootste bedreigde natuurgebied? Eén ding is zeker: het Amazonegebied spreekt tot de verbeelding.

Voor sommigen geldt het gebied als hét voorbeeld van het grootste ongestoorde regenwoud, met een ongelooflijke rijkdom aan planten- en diersoorten. In dit beeld speelt de mens hooguit een bijrol. De inheemse volkeren leven vrijwel in harmonie met de natuur; hun zwerflandbouw heeft alleen zeer plaatselijk een kortstondig effect. In die visie is het belangrijk dat het Amazonegebied ook in de toekomst verregaand gevrijwaard blijft van menselijke invloed.

Anderen hebben vooral aandacht voor de vernietiging van het regenwoud. Door boskap voor hout of landbouw is het gebied een voorbeeld geworden van een ecologische ramp. Een bebost Amazonegebied speelt immers een cruciale rol bij de regulatie van het klimaat op wereldschaal. Uit dit beeld blijkt het onvermogen van de moderne mens om in evenwicht met de natuur te leven.

Hoe verschillend deze beide beelden ook lijken, bij nadere beschouwing hebben ze veel overeenkomsten. Ze zijn namelijk beide gebaseerd op

eenzelfde visie over de verhouding tussen mens en leefomgeving: de mens is een intrinsiek destructieve kracht. Alleen een lage bevolkingsdichtheid en beperkte technologische middelen zorgen ervoor dat de schade aan het gebied beperkt blijft. Maar zijn deze beelden wel correct?

## Vroege bewoning in de Amazone

In 1540 voer de Spaanse missionaris Gaspar de Carvajal als eerste Europeaan de Amazone af. In twee jaar reisde hij van de oorsprongen van de rivier tot de monding in de Atlantische Oceaan. In zijn reisverslag schreef hij: *'We zagen zeer grote steden die wit glinsterden (...) en veel wegen die de binnenlanden ingingen (...) en daarnaast is dit gebied net zo vruchtbaar (...) als ons Spanje.'* Zijn reisverslag werd door velen beschouwd als het product van een fantast die tijdens zijn tocht waarschijnlijk door ziektes aan koortsdroombeelden had geleden. Dat ongelooft werd versterkt doordat latere expedities, vanaf 1650, geen zichtbare tekenen zagen van deze talrijke bevolking met haar veronderstelde intensieve landbouw.

De laatste decennia is er alsnog een soort eerherstel voor De Carvajal gekomen. Het historisch beeld van de Amazone is behoorlijk bijgesteld, nu we geleerd hebben de tekens in de bodem,

de vegetatie en het landschap beter te lezen. We vinden nu veel bewijzen die het beeld van de Spaanse missionaris onderschrijven. Het gebied was voor de komst van de Europeanen inderdaad op sommige plaatsen dicht bevolkt. Er is ook intensieve landbouw bedreven. Onder andere in de vegetatie schuilen belangrijke aanwijzingen daarvoor. Het Amazonegebied blijkt bijvoorbeeld het oorsprongsgebied te zijn van vele tientallen voedselgewassen, zoals cassave, zoete aardappel, cacao, ananas en paranoot. De veredeling van deze gewassen is al zeker vijfduizend jaar oud.

### Potscherven in de zwarte aarde

Andere belangrijke aanwijzingen komen uit de bodem. Op veel plaatsen langs de Amazone en haar zijrivieren vind je zwarte grond. Die kleur contrasteert sterk met de roestkleurige grond die je

in de wijde omgeving ziet. In het Braziliaans-Portugees wordt die zwarte grond *Terra Preta do Indio* genoemd: de zwarte aarde van de indiaan. En alleen in die Terra Preta worden grote hoeveelheden potscherven en aardewerk gevonden.

Verschillende onderzoekers hebben zich natuurlijk afgevraagd wat het verband is tussen beide verschijnselen. Heeft de oorspronkelijke bevolking zich gevestigd op de plaatsen die van nature bijzonder vruchtbaar waren? Of is die hoge bodemvruchtbaarheid het gevolg van menselijke activiteit? Sommigen dachten dat de Terra Preta geologisch gesproken anders was dan de andere gronden. Die gedachte lag in eerste instantie ook wel voor de hand. Antropologen waren het er aanvankelijk over eens dat de bodemvruchtbaarheid van de Amazone zo laag was, dat er te weinig (eiwitrijk) voedsel vanaf zou kunnen komen om

Links: Terra Preta wordt onder andere gekenmerkt door de aanwezigheid van potscherven.



Rechts: Soms zitten in de Terra Preta nog complete aardewerken objecten, zoals deze urn uit de Marajó-cultuur.



grote populaties mensen te onderhouden. Zo hielden de sociale wetenschappen en de natuurwetenschappen dezelfde theorie in stand: een gebied dat ecologisch te voedselarm was voor culturele ontwikkeling van een grote bevolking kon per definitie geen voorbeeld zijn hoe de mens de bodemvruchtbaarheid kon verhogen.

Inmiddels is er consensus dat die hoge bodemvruchtbaarheid wel degelijk het resultaat is van menselijke activiteit. Dat blijkt alleen al uit het feit dat we onmiddellijk onder die vruchtbare zwarte laag dezelfde arme bodems tegenkomen die we elders in het landschap aantreffen: rode klei, met een hoog ijzergehalte. Bij het ontstaan van die consensus heeft de Nederlandse bodemkundige Wim Sombroek een doorslaggevende rol gespeeld. Met recht mag hij de geestelijke vader van het moderne Terra Preta-onderzoek worden genoemd.

### **De bijzondere eigenschappen van Terra Preta**

Uit analyses van de Terra Preta blijkt dat deze zwarte grond minder zuur is en meer organische stof bevat. Ook zijn de gehaltes aan specifieke plantenvoedende stoffen veel hoger, met name fosfor – de meest kritische voedingsstof voor de tropische landbouw – en calcium. Niet alleen is het organische stofgehalte veel hoger, ook blijkt dat met name de hoeveelheid houtskool (zwarte koolstof) veel hoger is. Daardoor is de organische stof in de bodem stabielere dan elders in de tropen, waar de combinatie van hoge temperaturen en voldoende vocht leidt tot een snelle afbraak van vruchtbare humus.

Van de houtskool is duidelijk dat die het gevolg is van de vele vuurtjes die op de akkertjes en bij de afvalhopen rondom hutten zijn gestookt. Vuur was een belangrijk instrument bij het beheer van landbouwgrond. De oorspronkelijke bewoners van de Amazone moesten, meer dan in andere tropische gebieden, zorgvuldig omgaan met stukjes landbouwgrond die waren ontstaan na het kappen



van bos. Ze hadden namelijk geen beschikking over metalen bijlen. In plaats daarvan moesten ze met scherpe stenen bomen omhakken, een klus die twintig keer langzamer gaat dan met een ijzeren bijl. Ook konden ze het natuurlijke stervensproces van bomen versnellen. Dat deden ze door bomen deels te beschadigen en dan aan te steken. In een vochtig klimaat brandt zo'n boom dan niet af, maar smeult weg totdat hij omvalt.

Vuurtjes op een vochtige akker branden meestal niet maar smeulen, wat de vorming van houtskool bevordert. Houtskool is zeer slecht afbreekbaar en toevoeging van houtskool leidt dan ook tot ophoping van organische stof. In aanwezigheid van houtskool worden ook andere vormen van organische stof minder goed afgebroken, zodat nóg meer koolstof zich ophoopt. Die grotere voorraad aan organische stof leidt er ook toe dat voedingsstoffen minder snel uitspoelen.

Een deel van die voedingsstoffen is afkomstig van de as die ontstaat bij afbranden. Toevoer van

**De Nederlandse bodemkundige Wim Sombroek (1934 - 2003) op expeditie.**

## Vruchtbare bodem in de delta

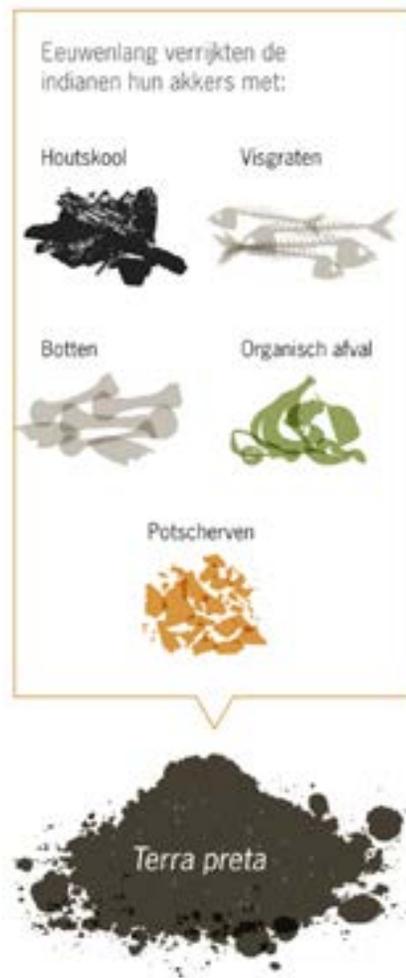
Bodems kunnen om allerlei redenen vruchtbaar zijn. De Nederlandse landbouw maakt bijvoorbeeld dankbaar gebruik van onze kleigronden in de uiterwaarden, waar de rivieren eeuwenlang voedingsstoffen hebben aangevoerd die vervolgens door de klei worden vastgehouden.

Terra Preta, de zwarte aarde uit de Amazone, is een voorbeeld van bodemverbetering *avant la lettre*; intrinsiek onvruchtbare grond die door de mens vruchtbaar is gemaakt.

Ook buiten het Amazonegebied komen gronden voor die zeer sterk lijken op de zwarte aarde. Daar gaat het evenwel om natuurlijke processen in relatief droge klimaten. Een goed voorbeeld zijn de 'chernozems': zwarte aarde die je bijvoorbeeld in de oude graanschuur van Europa, de Oekraïne kan vinden. Die gronden bevatten ook houtskool, naast calcium en fosfor, maar dan van natuurlijke oorsprong, dus niet door de mens opgebracht zoals in de Amazone.

voedingsstoffen komt voornamelijk van de Amazone. De rivier is rijk aan voedingsstoffen en daarmee aan vis, die een belangrijk deel van het dieet van de menselijke bewoners vormde. De visgraten – een bron van calcium en fosfor – bleven op het land achter. De mensen hielden in de uiterwaarden ook rivierschildpadden, die in grote aantallen in de Amazone voorkwamen. Naast de visgraten en resten van de schildpadden, bleven ook botten van landdieren achter, zij het in beperkte hoeveelheden, doordat hun dichtheid op de arme Amazonebodem laag was.

Ook bodembologisch zijn er grote verschillen tussen de zwarte aarde en de onderliggende en omringende tropische rode klei. Bij de hoge pH van de zwarte aarde – dus de lage zuurgraad – hoort een geheel eigen gemeenschap van micro-organismen. Op de oppervlakten van de houtskoolfragmenten komen bacteriën en vooral schimmels voor die het vermogen hebben deze stabiele koolstof af te breken. Sommige van deze schimmels kunnen ook zelf zwarte-koolstofverbindingen maken, wat weer bijdraagt aan de stabiliteit van de organische stof.



De 'ingrediënten' van Terra Preta

In zekere zin is de zwarte aarde dus een levende bodem, die mogelijk gereproduceerd kan worden door een klein beetje van de zwarte aarde met daarin de bijbehorende micro-organismen naar schrale bodems te 'transplanteren'.

De micro-organismen die in de Terra Preta zwarte-koolstofverbindingen afbreken, hebben mogelijk ook een biotechnologische waarde. Ze kunnen wellicht persistente organische milieuver-

ontreinigingen afbreken. Het ligt daarbij voor de hand om de eventuele (financiële) voordelen die uit die kennis uit de Terra Preta voortkomen – conform het biodiversiteitsverdrag van Rio de Janeiro uit 1992 – mede ter beschikking van de oorspronkelijke bevolking te laten komen, en niet alleen van de biotechnologische bedrijven in het westen.

Naast verschillen in micro-organismen zijn er ook verschillen in het voorkomen van grotere bodemdieren. Door de hogere pH en het hogere gehalte aan calcium vinden regenwormen hier een geschikt milieu. Door hun graafactiviteiten kan de zwarte grond zeer diep doordringen, tot wel meer dan twee meter diep. Door die biologische activiteit is ook de fysische bodemkwaliteit hoger. Dat betekent niet alleen een bodem met een betere bewerkbaarheid, maar ook een bodem die beter in staat is om fluctuaties in het vochtgehalte te reguleren.

### Langs de oevers van de Amazone

Zwarte grond komt over vrijwel het hele Amazonebekken voor. Het wordt gevonden langs de Amazone zelf, en langs de voornaamste zijrivieren, zoals de Madeira en de Tapajos. Mogelijk is hier wel sprake van een 'scheve steekproef', omdat in dit gebied de boot het meest gebruikte vervoermiddel is. De meeste onderzoeksinspanningen zijn dan ook langs de grotere rivieren gepleegd. Niet alle rivieroevers zijn even goed met zwarte aarde bedeed: langs 'zwart-waterrivieren' als de Rio Negro vind je veel minder zwarte aarde dan langs rivieren met 'wit', ofwel helder water.

Zwarte aarde vind je niet in uiterwaarden die jaarlijks overstromen, en waar dus slechts een deel van het jaar landbouw mogelijk is. Het zit wel in de hogere oeverwallen. De theorieën die het ontstaan van de zwarte aarde verklaren, verbinden dit met de plaatsen waar de bevolking leefde: bij de rivier vanwege de aanwezigheid van voldoende eiwitten in de vorm van vis en rivierschildpadden, en



**Langs de oevers van de Rio Negro vind je, anders dan de naam wellicht suggereert, relatief weinig zwarte aarde.**

vanwege de transportmogelijkheden, maar dan alleen op de hogere delen langs die rivier vanwege de overstromingsrisico's. Bovendien kunnen die hogere plekken veel beter worden verdedigd tegen vijandelijke volkeren. Zulke plekken liggen vaak ook nabij het bos, waar een grote diversiteit aan bosproducten, zoals vruchten, hout voor boten, medicinale gewassen en giftige kruiden, kan worden verzameld.

Ook op andere plaatsen in Brazilië vind je de mensenhand terug in oude bodems en landschap. Zo zijn er schelpenbergen (*sambaquis*), verhoogde landbouwveldjes (*raised fields*) en geometrische patronen in het landschap (*geoglyphs*), allemaal gemaakt door de oorspronkelijke bevolking. Ook in Midden-Amerika zijn door de mens verbeterde bodems wijd verbreid. Dan kun je denken aan de opgehoogde veldjes (*chinampas*) in Mexico. Het gaat hier niet alleen om bodemverandering door de mens, maar veel meer om landschapsverandering. Dit geldt ook voor de zwarte aarde, want in de

---

## Op veel plaatsen vind je de mensenhand terug in oude bodems

omgeving van dorpen met zwarte aarde is ook de soortensamenstelling van het bos veranderd, een effect dat tot op de dag van vandaag zichtbaar is.

### Zwarte aarde elders op de wereld

Ook in Afrika, Azië en Australië zijn door de mens veranderde en verbeterde bodems beschreven die lijken op de zwarte aarde van het Amazonegebied. Toch is zwarte grond in die gebieden veel schaarser dan in Brazilië. Het lijkt niet erg waarschijnlijk dat dit met de bijzondere bodemgesteldheid rond de Amazone te maken heeft. De oorspronkelijke bodems in alle tropische gebieden lijken immers sterk op elkaar. Het ligt meer voor de hand om de verschillen in de cultuur te zoeken. In Afrika en Azië was bijvoorbeeld de zwerflandbouw veel algemener dan in Zuid-Amerika. In het Amazonegebied werden al relatief vroeg landbouwgebieden vrijwel permanent gebruikt. Gebrek aan ijzeren voorwerpen heeft daarbij ongetwijfeld een rol gespeeld, maar dit kan waarschijnlijk niet alles verklaren.

Ook in Nederland komen Middeleeuwse bodems voor die door de mens zijn verrijkt. Het gaat hier om de plaggenbodems, ook wel enkeerdgronden genoemd. Dit zijn bodems die werden gemaakt door jaarlijks heideplaggen met mest en voedingsstoffen op de akkers te brengen. Plaggenbodems zijn in Noordwest-Europa wijd verbreid op zandgrond. Ze hebben net als de zwarte aarde van de Amazone hoge gehalten organische stof en fosfor.

### Beperkte oppervlakten

De oppervlakte van stukken grond met zwarte aarde is variabel. Meestal zijn de oppervlaktes langs de Amazone slechts enkele hectares groot. Er zijn ook grotere oppervlaktes, zoals bij Santarém, waar de zwarte aarde in totaal vierhonderd hectare beslaat. Als je rekening houdt met de vruchtbaarheid van de zwarte aarde, betekent dit dat hier

voldoende voedsel werd geproduceerd voor enkele tienduizenden mensen. Ook op andere plaatsen waren er grote dorpen van twee- tot vijfduizend inwoners. Ook daar moet de oppervlakte zwarte aarde groot zijn geweest.

De totale oppervlakte in het Amazonegebied die met zwarte aarde is bedekt, is onbekend. Onderzoekers schatten het areaal op enkele promillen tot hooguit enkele procenten van het totale oppervlak. Omdat de afzonderlijke velden met zwarte aarde meest klein zijn, vinden we dit bodemtype nooit op grootschalige bodemkaarten terug, wat mogelijk heeft bijgedragen aan gebrekkige belangstelling voor deze fascinerende bodems.

De oppervlakte aan zwarte aarde zegt overigens niets over de mate waarin de oorspronkelijke bewoners van het gebied hun landschap hebben veranderd. Als we naar de vegetatie kijken, is het aannemelijk dat een veel groter gebied dan alleen dat met zwarte bodems in de laatste duizend jaar door de mens beïnvloed is geweest. Niet alleen de honkvaste bewoners, ook jager-verzamelaars hebben de omgeving selectief veranderd. Maar zelfs al is het Amazonegebied door al die activiteiten feitelijk meer een cultuurlandschap – een ‘parklandschap’ zo je wilt – dan een ‘oerwoud’, bescherming wordt daarmee niet minder belangrijk.

## Ontstaan van zwarte aarde

**M**ET BEHULP van koolstofdatering – de C14-methode – kun je onderzoeken hoe oud de zwarte aarde is. De alleroudste zwarte aarde blijkt dan zo'n 6.000 jaar geleden gemaakt te zijn. De meeste zwarte gronden zijn wat jonger: tussen 2.500 en 1.000 jaar oud. Ander onderzoek laat zien dat het gebied door zeer verschillende volkeren werd bewoond. Ook zijn er de afgelopen duizenden jaren uitgebreide volksverhuizingen geweest. Het gevolg is dat we niet precies kunnen achterhalen welke volkeren precies de zwarte aarde hebben gemaakt. De groepen die nu die gebieden bewonen zijn niet noodzakelijkerwijs dezelfde als de volkeren die de bodems hebben gemaakt. In de wetenschappelijke literatuur worden de volkeren van twee taalfamilies, de Arawak en de Tupi-Guarani, als de meest aannemelijke makers van zwarte grond beschouwd.

Veel inheemse bewoners wonen nu in relatief kleine gemeenschappen en leven van verzamelen

De Arawak zijn waarschijnlijk oorspronkelijke makers van Terra Preta.



en jagen. Het lijkt daarom merkwaardig dat uiterekend deze min of meer nomadische mensen die zwarte aarde gemaakt hebben. Het is dan ook goed te bedenken dat de huidige levenswijze van de Indianen niet dezelfde is als die van vijfhonderd of duizend jaar geleden. Hun levenswijze is veranderd na de komst van de Europeanen. Bovendien zijn hun aantallen in die periode sterk geslonken door massale sterfte als gevolg van griep, mazelen, pokken en andere infecties die de Europeanen, vaak zonder dat te weten, meebrachten. De inheemse bevolking was nog niet eerder met deze ziektes in aanraking gekomen en daardoor extreem vatbaar. Zulke besmettelijke ziektes kunnen zich alleen handhaven in voldoende grote gemeenschappen. Het is denkbaar dat deze ziektes zich ook van dorp tot dorp konden verspreiden, zodat ook de bevolking op plaatsen waar nog geen Europeaan was geweest, werd gedecimeerd.

Het is lastig om een goede schatting te maken hoezeer deze ziektes het Amazonegebied ontvolkt hebben. Waarschijnlijk is 90% tot meer dan 95% van de oorspronkelijke bevolking in de eeuw na de komst van de Europeanen uitgestorven. Op basis van het areaal zwarte grond en de productiviteit van die bodems, zijn schattingen gemaakt over de bevolking in het Amazonegebied ten tijde van Columbus: zo'n acht tot tien miljoen mensen. Om die mensen te voeden moet er intensief gebruik zijn gemaakt van de natuurlijke hulpbronnen.

### Landbouw op zwarte aarde

De oorspronkelijke bewoners verbouwden vooral zoete cassave op de zwarte aarde, en bittere cassave op de armere, roestkleurige klei. Daarnaast teelde men maïs, wat wijst op handel met de bevolking in Mexico. Omgekeerd is de cacaoboem van het Amazonegebied naar Mexico gegaan. Bomen met nuttige vruchten, zoals de açaipalm, perzikipalm of paranotenboom, liet men vaak op de landbouwgrond staan.

Landbouw op zwarte aarde wordt vaak als een goed voorbeeld gezien van een tropisch landbouwsysteem dat productief en duurzaam is. Dat blijkt in de praktijk maar deels op te gaan. Door de hoge vruchtbaarheid is zwarte aarde namelijk niet alleen zeer geschikt voor productieve landbouw, maar ook voor onkruid. Door die onkruiddruk is het gebruik van bestrijdingsmiddelen tegenwoordig hoger, wat weer ten koste gaat van de duurzaamheid. Ook worden er op zwarte aarde andere, meer winstgevendende gewassen verbouwd, hetgeen kan leiden tot achteruitgang van de bodemkwaliteit.

### **Nieuwe zwarte aarde: biochar**

Vanwege de grote voorraad koolstof, in combinatie met de hoge bodemvruchtbaarheid, lijkt zwarte aarde een ideale bodem om 'klimaatlimme' landbouw te bedrijven. Toch kunnen de bestaande bodems met zwarte aarde daar niet voor worden gebruikt. Onder de Braziliaanse wetgeving gel-

den deze gronden namelijk als archeologische monumenten, die wettelijk worden beschermd. Bestaande gronden mogen weliswaar worden gebruikt, maar nieuw ontdekte gronden zijn niet voor landbouw bestemd.

Veel mensen zouden deze gronden dan ook opnieuw willen maken. Maar in het benodigde recept ontbreekt één belangrijk element: de tijd die nodig is om zulke gronden na te kunnen maken. Veel onderzoekers hebben hun tanden daar al op stuk gebeten. Er is nog steeds geen geslaagd voorbeeld. Dat betekent dat het waarschijnlijk veel meer dan een generatie duurt voordat zulke bodems ontstaan. Geduld is dus een wezenlijk onderdeel van het recept!

Sommige onderzoekers menen dat de bijzondere eigenschappen van de zwarte aarde eigenlijk zijn toe te schrijven aan de houtskool die aan de bodem is toegevoegd. Daarmee zou er dus wél een simpel recept kunnen zijn om die bodems na te maken. Maar houtskool heeft, zeker in de tropen, geen goede naam. Houtskool wordt geassocieerd met ontbossing; en het maken van houtskool is een voorbeeld van niet-duurzaam gebruik van onze natuurlijke hulpbronnen. Om die reden wordt houtskool die is bedoeld voor bodemverbetering met een andere term aangeduid: biochar.

Rondom biochar is de laatste jaren een geweldige hype ontstaan. Het voorvoegsel bio suggereert dat het product natuurlijk en daarmee ecologisch verantwoord is. Voorstanders van het product laten ook niet na biochar aan te bevelen als een universele oplossing voor twee problemen. Door toepassing van biochar wordt het bedrijven van een meer productieve, duurzame vorm van landbouw eindelijk mogelijk. Bovendien wordt in de houtskool koolstof voor zeer lange tijd vastgelegd. Daardoor draagt landbouw op basis van biochar bij aan het verminderen van de door de mens veroorzaakte klimaatsverandering. Kortom biochar zou een win-win-oplossing zijn.

**Maïs in Brazilië is een teken van vroegere handel met Mexico.**





Houtskool voor bodemverbetering wordt biochar genoemd.

---

## Biochar is een hype geworden

### Klimaatslimme landbouw

Ook buiten de wetenschap wordt biochar omarmd, bijvoorbeeld door de Wereldbank. Die heeft een optimistisch rapport geschreven over toepassing van biochar in klimaatslimme landbouw in de tropen. Maar kan de biochartechnologie haar beloften ook waarmaken? Recent onderzoek levert weinig aanwijzingen dat toepassing van biochar de landbouw in één klap duurzaam kan maken. De meestal kortdurende proeven laten geen of maar zeer weinig effect zien van toepassing van biochar in de gematigde streken. Dat is niet verrassend, want onze landbouwproductie is vooral afhankelijk van een efficiënt gebruik van stikstof, iets waarbij biochar geen, of mogelijk zelfs een negatieve rol speelt. Stikstof wordt door biochar juist vastgehouden, waardoor het niet meer beschikbaar is voor het gewas.

In de tropen zijn wel kortdurende positieve effecten van biochar gerapporteerd, vooral op zure bodems. Nadere analyse van die proeven laat echter zien dat hier vrijwel altijd sprake is van kortetermijneffecten, doordat met toepassing van

biochar ook as aan de bodem wordt toegevoegd. Die as zorgt voor een tijdelijke verhoging van de pH, wat waarschijnlijk de oorzaak is van de toegenomen productie.

In het Amazonegebied heeft de onderzoeksgroep Bodemkwaliteit van Wageningen University & Research proeven gedaan met biochar. De biochar werd gemaakt van restproducten, bijvoorbeeld de vruchtschalen van paranoten, die ter plaatse worden omgezet tot houtskool dat als brandstof op de markt wordt gebracht, en biochar voor het land. Die rol voor paranoten lijkt overigens historisch gezien cruciaal. De verspreiding van paranoten door het Amazonegebied hangt namelijk heel sterk samen met de verspreiding van Terra Preta. Met andere woorden: de oorspronkelijke bewoners die de zwarte aarde produceerden, hebben overal waar zij kwamen ook de paranoot verspreid.

De belangstelling van de moderne plaatselijke boeren voor het produceren van biochar bleek in de Wageningse proeven zeer beperkt. Ten tijde van het onderzoek was er namelijk een relatief goede beschikbaarheid van goedkope kunstmest. En belangrijker nog: de boeren gaven aan dat het maken van biochar een tijdrovende klus is, waarbij de extra tijdsinvestering de eerste jaren absoluut niet opweegt tegen eventuele hogere opbrengsten.

Misschien kunnen we leren van bestaande praktijken waarbij de oorspronkelijke bewoners nog steeds zulke bodems produceren. Zo maken bijvoorbeeld de Kuikoro nog steeds zwarte grond aan de randen van hun hutten waar hun afval gedumpt wordt en waar men dat afval laat smeulen. Op andere plaatsen in het Amazonegebied verzamelen men organisch afval en verbrandt dat in hoopjes op de grond die vaak met zand worden overdekt, waardoor er maar weinig zuurstof bij de afvalhoop komt. Op die manier verbrandt het materiaal niet, maar 'verhoutschoolt' het. Dit materiaal wordt verbrande aarde (*terra queimada*) genoemd.

Op zichzelf is het niet verwonderlijk dat de

biochartechnologie niet in één of enkele jaren kan bewerkstelligen wat de zwarte aarde ons al vele eeuwen levert. Bij het maken van zwarte aarde komt meer kijken; ook calcium en fosfor zijn belangrijke elementen. Het is denkbaar, maar nog onvoldoende onderzocht, dat ook de potscherven een bijdrage leveren aan het verhogen en behouden van de bodemvruchtbaarheid. Een complexe traditie van landbouwpraktijken en bewoning kan niet op korte termijn vervangen worden door een simpele technologie.

### **De weg naar intensivering van het gebruik van de Amazone**

Het overheersende beeld van het Amazonegebied is er één van grote kwetsbaarheid. Het bestaan van deze zwarte bodems heeft laten zien dat in het gebied ook intensieve landbouw mogelijk is. Transformatie van bos naar landbouwgebied vindt waarschijnlijk al eeuwenlang plaats. Die impliciete boodschap valt niet overal in goede aarde. Zo'n nadruk op menselijke transformatie van het Amazonegebied roept bij sommigen expliciet de vrees op dat dit kan bijdragen aan verdergaande verandering en daarmee verwoesting van het Amazonelandschap. Zo is het debat over de toekomst van het Amazonegebied gekleurd door onze interpretatie van de vroegere interactie tussen mens en natuur.

Het oude beeld dat de 'primitieve' mens zich slechts kon voegen naar de eisen die de leefomgeving stelde, en dat pas de 'moderne, westerse' mens de leefomgeving naar zijn hand kan zetten, is in ieder geval onhoudbaar gebleken. De Terra Preta van de Amazone is daarom niet alleen een inspiratiebron voor bodemkundigen, maar voor iedereen die betrokken is bij een duurzame omgang met de grond onder ons bestaan.

# De cast: alle beest

**D**E BIODIVERSITEIT in de bodem is enorm. De soortenrijkdom in de grond kan makkelijk wedijveren met die van koraalriffen of het tropisch regenwoud. De bodem kent een enorme verscheidenheid aan micro-organismen en ongewervelden. Daarnaast zijn er veel gewervelde bodemdieren. Maar wat moet je je nu precies voorstellen bij 'bodem-dieren'?

Bodemfauna is een verzamelnaam voor een enorme vormenrijkdom aan soorten, die in afmeting variëren van minder dan een millimeter tot meer dan een meter. Hierbij geldt in grote lijnen: hoe kleiner de soort hoe algemener. Wat deze soorten met elkaar gemeen hebben is dat hun gehele levenscyclus, of het overgrote deel, zich in de bodem afspeelt. Sommige soorten zijn geheel aangewezen op de bodem voor hun voedsel, groei, voortplanting en overleving bij droogte, hitte of koude. Denk aan regenwormen, de mol of de veenmol (een soort krekkel). Zij kunnen buiten de bodem niet overleven.

Andere soorten komen maar voor een deel van hun levenscyclus in de bodem voor, meestal als ei, larf of pop. Veel vliegen en kevers behoren tot deze groep. Menigeen zou deze insecten niet als bodembewoner benoemen. Toch leven ze als larf vele malen langer in de bodem dan dat zij als volwassen dier bovengronds worden waargenomen. De larven van deze soorten leven vaak van plantenwortels, afgefallen blad of mest, terwijl de volwassen stadia meestal boven de grond hun voedsel bij elkaar scharrelen als planteneter of bloembezoeker.

# en van de bodem

Er zijn ook vele soorten die bijna hun gehele levenscyclus boven de bodem doorlopen, maar die de bodem nodig hebben om te overwinteren en te verpoppen van nymf of larf naar volwassen stadium. Dit zijn geen typische bodemdieren maar in hun levenscyclus speelt vroeger of later de bodem wel een belangrijke rol. Voorbeelden van dergelijke soorten zijn vlinders en tripsen.

Volgens het Nederlands Soortenregister (de webpagina met de burgerlijke stand van de Nederlandse natuur) kent ons land momenteel 34.220 geregistreerde soorten, waarvan iets meer dan driekwart meercellige dieren zijn. Volgens een voorzichtige inschatting zijn 6.300 soorten te classificeren als sterk afhankelijk van de bodem (zie de tabel op de volgende pagina). Dit is 22% van het aantal Nederlandse diersoorten. Daarmee maakt de bodemfauna een substantieel deel uit van de Nederlandse biodiversiteit. Daarnaast kan het aantal met het oog waarneembare exemplaren oplopen tot meer dan 100.000 per vierkante meter bodem, en dat maakt bodemfauna ook functioneel een belangrijke component van het ecosysteem.

De enorme verscheidenheid aan bodemdieren in een gemiddelde vierkante meter grond stelt ecologen voor problemen. Deze ongewoon grote rijkdom verhoudt zich slecht tot de gangbare ecologische theorie. Veel soorten zijn vergelijkbaar in hun keuze voor microhabitat en dieet, en delen dezelfde predatoren, wat een sterke concurrentie in de hand werkt. Een deel van de verklaring zit in de heterogeniteit van de bodem en de aanpassing die soorten gevonden hebben voor een leven in

grond. De bodem is voor dieren een lastige leefomgeving. Zo is deze in tegenstelling tot de lucht of het water ondoorzichtig, waardoor communicatie tussen individuen grotendeels via geuren verloopt. Bovendien is de bodem niet gemakkelijk om doorheen te bewegen, tenzij je kunt graven of gebruik kunt maken van andere soorten die de bodem van structuur voorzien, zoals regenwormen. Deze structuur geeft op zijn beurt samen met afgestorven bladstrooisel van boven naar beneden korte en scherpe gradiënten in vochtigheid, temperatuur en zuurgraad in de bodem. Het is deze heterogeniteit in abiotische bodemcondities die een belangrijke verklaring geeft voor de rijkdom aan bodemfauna.

## Schatting van het aantal soorten bodemdieren in Nederland

In de tabel zijn soorten bodemdieren opgenomen die geheel of grotendeels aan de bodem zijn gebonden. Het aantal soorten per groep is gebaseerd op het Nederlands Soortenregister. Alleen groepen met vertegenwoordigers in de bodem zijn opgenomen. Informatie uit de literatuur, voor zover aanwezig, is gebruikt om soorten in te delen als bodemdier. Bij afwezigheid van informatie is er vanuit gegaan dat de soort niet aan de bodem is gebonden. Het is dus een voorzichtige schatting.

*Prof. Matty Berg*





springstaart



duizendpoot



potworm



pissebed

Diergroep	Aantal soorten in Nederland	Aantal soorten in bodem of gebonden aan de bodem	Als % van het totaal aantal soorten	Opmerking
<b>Wormen</b>				
Regenwormen	24	24	100%	
Potwormen	7	7	100%	
<b>Slakken</b>				
Naakt- en huisjesslakken	342	116	34%	Allen longslakken
<b>Spinachtigen</b>				
Spinnen	669	167	25%	
Hooiwagens	37	19	52%	
Pseudoscorpionen	23	13	57%	
Mijten	1.132	453	40%	Voornamelijk mosmijten en roofmijten
<b>Duizendpootachtigen</b>				
Duizendpoten	41	39	95%	
Miljoenpoten	51	50	98%	
Weinigpotigen	9	9	100%	
Wortelduizendpoten	15	15	100%	
<b>Kreeftachtigen</b>				
Vlokreeften	180	5	3%	
Pissebedden	86	39	45%	
<b>Zespotigen</b>				
Springstaarten	344	330	96%	
Beentasters	3	3	100%	
Tweestaarten	10	10	100%	
<b>Insecten</b>				
Rotsspringers	5	5	100%	
Sprinkhanen	46	34	74%	
Kakkerlakken	8	4	50%	



**zandloopkever**



**regenwormen**



**mol**



**naaktslak**

Diergroep	Aantal soorten in Nederland	Aantal soorten in bodem of gebonden aan de bodem	Als % van het totaal aantal soorten	Opmerking
Oorwormen	6	6	100%	
Tripsen	284	10	4%	De meeste Nederlandse soorten verpoppen en overwinteren in de bodem
Wantsen, cicaden, bladluizen	1.718	147	9%	Vooral wantsen
Kevers	4.528	1.950	43%	
Gaasvliegen	73	3	4%	Alleen mierenleeuwen
Kokerjuffers	180	1	0.6%	
Vlinders	2.206	83	4%	Nog eens 434 vlinders overwinteren en verpoppen in de bodem
Schorpioenvliegen	6	6	100%	Alleen de nymfen leven in de bodem
Vliegen en muggen	4.967	2.033	41%	Alleen de larven en de poppen leven in de bodem
Vliesvleugeligen	5.463	665	12%	Voornameijk angeldragers (86% van de soorten), nog eens 530 soorten overwinteren en verpoppen in de bodem (bladwespen)
<b>Gewervelden</b>				
Amfibieën	20	0	0%	16 soorten overwinteren in de bodem
Reptielen	9	8	87%	
Vogels	203	19	9%	Broedend én fouragerend op of in de bodem
Zoogdieren	116	31	27%	In de bodem levend of graaft een hol
<b>Totaal</b>	<b>22.663</b>	<b>6.304</b>	<b>28%</b>	

A scenic landscape featuring rolling hills. In the foreground, there's a green field with some bushes. In the middle ground, a golden field (possibly wheat) stretches across a hillside. A row of four tall, green trees stands prominently on the ridge. A person is visible riding a bicycle in the golden field. The background shows more hills under a clear blue sky.

**Landbouw leidt vaak tot achteruitgang van de bodemkwaliteit. Toch zijn er wel degelijk manieren om de kwaliteit van de bodem te beschermen of te herstellen; zelfs door middel van landbouw.**

# Bodemverbeterende landbouw

■ IR. WIJNAND SUKKELE EN DR. MIRJAM PULLEMAN

**H**ET GAAT niet goed met de hoeveelheid geschikte landbouwgrond op aarde. Bodemerosie, uitputting van nutriëntenvoorraden, bodemvervuiling, verlies van biodiversiteit, verdroging en bodemverdichting, ... ze dragen allemaal bij aan het verlies van het gezond functioneren van bodems en productiesystemen. Een van de hoofdschuldigen is de landbouw zelf. Dat is een alarmerende conclusie in het licht van de benodigde voedselvoorziening voor een groeiende wereldbevolking. Herstel van de schaarse landbouwgrond vraagt veel tijd, terwijl klimaatverandering de druk op de mondiale bodemkwaliteit juist doet toenemen. Zonder tegenmaatregelen zal de bodem niet langer weerbaar zijn maar weerloos.

In zijn boek *Dirt, the erosion of civilizations* (2007) laat de Amerikaanse geofysicus David Montgomery zien dat veel oude beschavingen ten onder zijn gegaan aan de verwaarlozing van hun landbouwgronden. Vooral de overmatige teelt van eenjarige gewassen was een probleem. Een landbouwsamenleving kon de voedselproductie via eenjarige gewassen maximaal enkele honderden jaren volhouden, waarna de bodem niet meer geschikt was voor deze dienst. De grond werd dan weer teruggegeven aan de natuur, waarna het weer

minimaal enkele honderden jaren duurde voordat de bodem weer geschikt was voor landbouw. Productiesystemen als het Middeleeuwse 'driestagstelsel', of gebruik van gemeenschappelijke landbouwgronden – de 'meent' konden de productiviteit van een bodem lang in stand houden, maar gingen toch vaak ten onder om politieke of maatschappelijke redenen. Hetzelfde gebeurt de laatste decennia in de tropen, waar traditionele systemen als 'shifting cultivation' (zwerf landbouw) of 'slash and burn agriculture' (brandlandbouw) steeds meer onder druk staan door bevolkingsgroei, en in toenemende mate botsen met natuurbeschermingsdoelen.

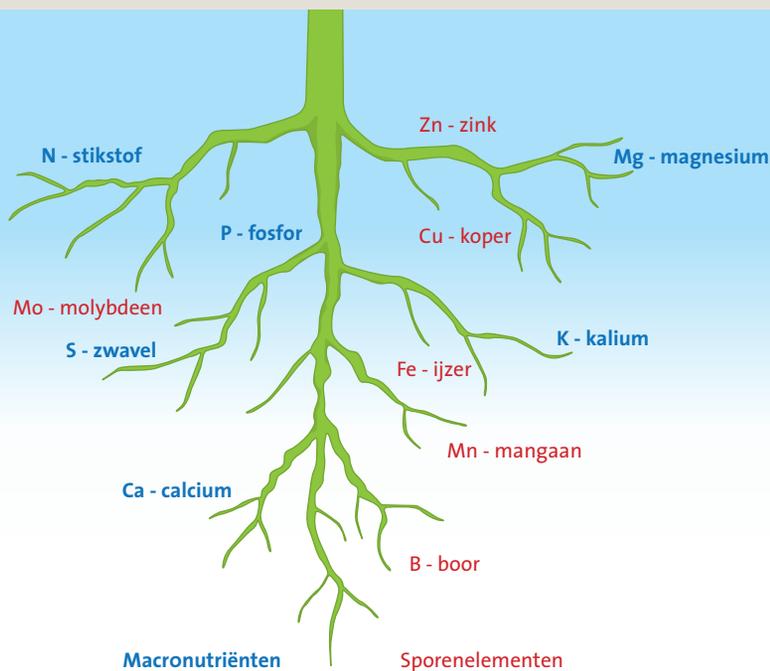
In het verleden waren er altijd nog wel alternatieve, makkelijk te ontginnen landbouwgronden voor handen. Tegenwoordig is vruchtbare grond wereldwijd een schaars goed geworden. Daarom is het belangrijk om landbouwconcepten toe te passen die de bodemkwaliteit ook voor de langere termijn in stand houden, of liever nog: verbeteren.

## **Bodemkwaliteit is meer dan productie**

Een gezonde bodem kan veel 'diensten' leveren. Voedselproductie is er daar maar één van. Andere belangrijke diensten zijn bijvoorbeeld waterberging en klimaatregulatie. Dit laatste kan door

# Bedreigingen van de gezonde bodem

BEDREIGING	OPLOSSING
<b>Bodemerosie</b>	
Mondiaal is erosie – en daarmee verlies van vruchtbare grond – een van de grootste bedreigingen voor de bodemkwaliteit. De oorzaak is vaak stromend water op hellingen of harde wind over open vlakten, op bodems die niet worden beschermd door planten(resten).	<ul style="list-style-type: none"><li>• minder intensieve grondbewerking</li><li>• teelt en grondbewerking dwars op de helling</li><li>• continue bedekking van de bodem met levende planten of gewasresten</li></ul>
<b>Bodemverdichting</b>	
Verdichte plekken, zoals de rijsporen van machines, kun je herkennen door niet, of slecht groeiend gewas. Met name door het gebruik van (te) zware machines wordt de lucht letterlijk uit de grond geperst en kunnen wortels en water niet meer door de bodem dringen, waardoor water op het land blijft staan.	<ul style="list-style-type: none"><li>• minder intensieve bewerking met lichtere machines</li><li>• niet berijden onder natte omstandigheden</li><li>• vruchtwisseling met goed wortelende gewassen</li></ul>
<b>Verzilting</b>	
Verzilting treedt op wanneer zilt water uit de bodem omhoog komt (zoute kwel), of wanneer er weinig regen valt en irrigatiewater snel verdampt. De opgeloste zouten blijven dan op het land achter. In Nederland speelt verzilting met name in gebieden met bodemdaling. Ook de zeespiegelstijging werkt verzilting in de hand.	<ul style="list-style-type: none"><li>• efficiënt irrigeren</li><li>• voldoende water om zouten weg te spoelen en zoute kwel tegen te houden</li><li>• teelt van gewassen die wel wat zout kunnen of zelfs willen hebben</li></ul>
<b>Uitputting van nutriënten</b>	
In de westerse landbouw worden de macronutriënten stikstof, fosfaat, kalium, calcium, magnesium en zwavel meestal wel voldoende aangevoerd via bemesting. De natuurlijke aanvoer van sporenelementen laat soms te wensen over. In de tropen zijn vaak ook de macronutriënten een probleem doordat de bodems van nature arm zijn en vaak onvoldoende worden gecompenseerd voor wat met de oogst wordt afgevoerd.	<ul style="list-style-type: none"><li>• voldoende recycling en, waar nodig, aanvoer van meststoffen als compensatie voor de afvoer</li><li>• voldoende organische stof en bodemleven om voedingsstoffen te bufferen en vrij te maken uit de bodem</li><li>• de juiste zuurgraad om de opname van voedingsstoffen door planten mogelijk te maken</li></ul>
<b>Tekort aan organische stof</b>	
Een bodem heeft organische stof nodig om voedingsstoffen en vocht vast te houden. Ook de biodiversiteit, de bodemstructuur en de opslag van koolstof (klimaat!) zijn gebaat bij voldoende organische stof in de bodem.	<ul style="list-style-type: none"><li>• gewasresten op het land achterlaten</li><li>• reststromen uit de voedselketen terug op het land brengen</li><li>• groenbemesters telen tussen hoofdgewassen en na de teelt van hoofdgewassen</li></ul>
<b>Bodemgezondheid</b>	
Wanneer te vaak eenzelfde gewas op hetzelfde stuk grond wordt geteeld, kunnen specifieke plagen en ziekteverwekkers zich makkelijk vermeerderen.	<ul style="list-style-type: none"><li>• voldoende 'vruchtwisseling'</li><li>• biodiversiteit in de bodem, met voldoende natuurlijke vijanden van ziekteverwekkers</li></ul>



De voedselbehoeften van een plant

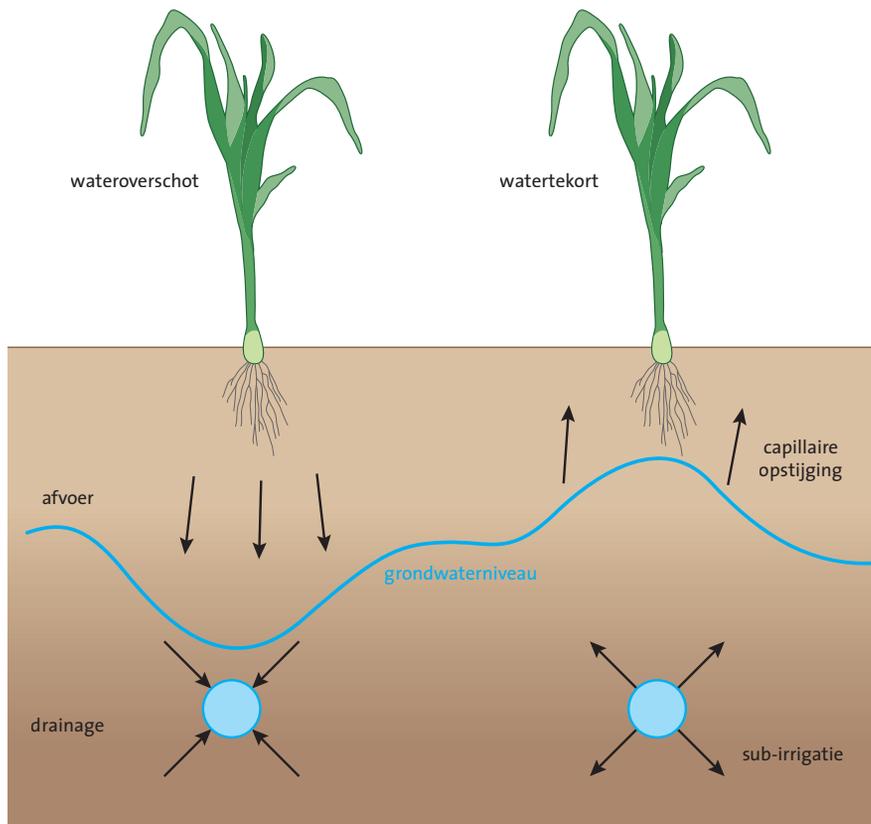
opslag van koolstofdioxide in de organische stof, en door het verminderen van emissies van de extreem sterke broeikasgassen lachgas en methaan uit de bodem. Daarnaast speelt het beheer van de bodem een cruciale rol in het verminderen van de uitspoeling van meststoffen zoals fosfaat en nitraat en van schadelijke pesticiden. Ook het herbergen van biodiversiteit, en het voorkómen van erosie zijn belangrijke bodemfuncties die je gericht kunt verbeteren door het gebruik van goede landbouwtechnieken.

Deze diensten hangen nauw samen en kunnen elkaar in veel gevallen versterken. Wateropslag is bijvoorbeeld belangrijk voor zowel waterbeheer als voedselproductie. Organische stof en bodembiodiversiteit zijn cruciaal voor voedselproductie door hun belangrijke rol in de nutriëntenvoorziening, ziekte- en plaagregulering en bodemstructuurvorming, maar ze hebben ook positieve effecten op veel andere diensten. Verbeteren van de bodemkwaliteit kan dan meestal ook niet met één simpele maatregel. Het vraagt om een geïntegreerde aanpak.

### De bedreigde bodem

Om een manier van landbouw te ontwerpen die de bodemkwaliteit verbetert, moet je eerst weten welke bedreigingen de bodemkwaliteit kent. In Nederland spelen met name bodemverdichting, toename van ziekteverwekkers, bodemdaling, plaatselijk daling van het organische stofgehalte en – in diepe polders en de kustregio's – het risico op verzilting een belangrijke rol, terwijl in het heuvelrijke deel van Zuid-Nederland vermindering van bodemerosie een hoge prioriteit heeft.

Ook de tijdshorizon waarbinnen we bodemkwaliteit beoordelen en kunnen herstellen speelt een belangrijke rol. Maatregelen om de bodem op de korte of middellange termijn te verbeteren voor akkerbouw bijvoorbeeld, kunnen op de lange termijn de bodemkwaliteit juist verslechteren.



Drainage en peilverlaging van het grondwater in Nederland verbeteren op de korte termijn de mogelijkheid om eenjarige gewassen te telen. Datzelfde waterbeheer zorgt echter voor inklinking, afname van organische stofgehalte en bodemdaling, waarmee de geschiktheid voor akkerbouw op de lange termijn afneemt. Ook intensieve grondbewerking, zoals ploegen, maakt de grond voor de korte termijn geschikter voor akkerbouw, maar blijkt op de middellange tot lange termijn nadelige effecten te hebben op bodemstructuur, organische stofgehalte en bodemleven. Een goede balans in de zorg voor de bodemkwaliteit, met oog voor de korte én de lange termijn, is daarom belangrijk.

**In tijden van droogte kunnen dezelfde buizen die voor drainage worden gebruikt, ook worden ingezet om water aan te voeren.**

## Bodemverbeterende maatregelen

**D**E GEREEDSCHAPSKIST voor duurzaam bodembeheer is gevuld met een groot aantal methoden en technieken. Belangrijke gereedschappen voor de teler zijn: bemesting, beheer van organische stof, grondbewerking, mechanisatie, gewasdiversiteit in tijd en ruimte, het telen van groenbemesters (gewassen die, meestal na het hoofdgewas, worden geteeld vanwege de opname van voedingsstoffen die anders zouden kunnen uitspoelen en vanwege de productie van organische stof die na de groei aan de bodem wordt toegevoegd), gewas- en raskeuze, inzet van gewasbeschermingsmiddelen en irrigatie.

Behoud of verbetering van bodemkwaliteit is meestal geen kwestie van één of enkele maatregelen, maar bestaat uit een aanpak waarbij verschillende technieken en methoden op elkaar zijn afgestemd. Voor landbouw op hellingen zal bijvoorbeeld het accent meer liggen op het voorkomen van erosie, voor droge gebieden op het vasthouden van water en irrigatie, en voor natte gebieden op het afvoeren van water.

Er bestaan enkele 'concepten' die de nadruk leggen op specifieke combinaties van methoden en die daarnaast een aantal technieken uitsluiten. Bekende concepten die in vergelijking met de huidige gangbare landbouw voor een duurzamer bodembeheer kunnen zorgen zijn de zogenoemde conserveringslandbouw en biologische landbouw. Conserveringslandbouw sluit intensieve en kerende grondbewerking uit en combineert dit met vruchtwisseling en een zoveel mogelijk continue bodembedekking door gewassen, groenbemesters en gewasresten. Biologische landbouw richt zich wat de bodem betreft vooral op beheer van organische stof, vruchtwisseling en de uitsluiting van het gebruik van synthetische gewas-

beschermingsmiddelen en kunstmest. Minerale meststoffen gebaseerd op delfstoffen zoals (rots) fosfaat en kalium zijn in de biologische landbouw wel toegestaan.

### Cultuurmaatregelen

Soms liggen cultuurmaatregelen buiten de invloedssfeer van een individuele boer. Bij een te natte grond kan aanleg van sloten, drainage en het beheer van het waterpeil door het waterschap de bodem geschikt maken voor de teelt van gewassen. Maar dat zijn nou juist cultuurmaatregelen die er op de lange termijn toe kunnen leiden dat de bodem óngeschikter wordt voor landbouw door inklinking en versnelde afbraak van organische stof.

### Tekorten aanvullen

Vaak is de bodemvruchtbaarheid in de chemische zin van het woord een beperkende factor voor optimale plantengroei. De voorraad en de beschikbaarheid van voedingsstoffen als stikstof, fosfor, kalium, zwavel, magnesium, calcium of sporenelementen kan een boer relatief eenvoudig verbeteren. Hij kan deze stoffen niet alleen aanvoeren, maar ook de beschikbaarheid verbeteren door de zuurgraad van de bodem te optimaliseren. Voedingsstoffen kunnen worden aangevoerd in de vorm van organische mest of kunstmest of, in het geval van stikstof, via binding uit de lucht door vlinderbloemige planten in samenwerking met bacteriën.

## De basisregels voor goed bodembeheer

- Oog hebben voor bodemkwaliteit op de korte én de lange termijn.
- Je niet alleen richten op voedselproductie maar ook op andere bodemdiensten.
- De bodem beschouwen als een levend ecosysteem in plaats van als een levenloos substraat.
- Dit ecosysteem beheren in plaats van beheersen.
- De bodem zo veel mogelijk het werk laten doen in plaats van de bodem te bewerken.
- Teruggeven aan de bodem wat je neemt.

baarheid van voedingsstoffen als stikstof, fosfor, kalium, zwavel, magnesium, calcium of sporenelementen kan een boer relatief eenvoudig verbeteren. Hij kan deze stoffen niet alleen aanvoeren, maar ook de beschikbaarheid verbeteren door de zuurgraad van de bodem te optimaliseren. Voedingsstoffen kunnen worden aangevoerd in de vorm van organische mest of kunstmest of, in het geval van stikstof, via binding uit de lucht door vlinderbloemige planten in samenwerking met bacteriën.

In tegenstelling tot organische meststoffen zijn bij gebruik van kunstmest de exacte gehalten van de voedingsstoffen bekend. Hiermee kan een boer gericht de specifieke tekorten in de bodem aanvullen. Bij tekorten aan plantenvoedingsstoffen in de bodem leidt bemesten al snel tot hogere opbrengsten. Die verbeterde plantengroei heeft tot gevolg dat er meer organische stof beschikbaar is voor de bodem via gewasresten. Om de algemene bodemvruchtbaarheid vervolgens langdurig op peil te houden is meer nodig dan alleen aanvoer van plantenvoedingsstoffen.

**In de conserveringslandbouw wordt de bodem zoveel mogelijk beschermd door plantenresten.**



### Opbouw en behoud van organische stof

Goed beheer van organische stof is een cruciaal, maar in de moderne landbouw vaak veronachtzaamd aspect van duurzaam bodemmanagement. Organische stof in de bodem is de spil van de chemische, fysische en biologische bodemvruchtbaarheid. De bodem moet regelmatig gevoed worden met vers organisch materiaal. In feite moet een deel van de productie van organische stof weer terug worden gegeven aan de bodem. Bij wortelresten gebeurt dat vanzelf. De boer heeft er verder direct invloed op via de teelt van groenbemesters en het al dan niet afvoeren van gewasresten, en indirect via gebruik van reststromen zoals dierlijke mest en compost. Om voldoende organische stof aan te kunnen voeren zal in de praktijk vaak een combinatie van de verschillende bronnen nodig zijn.

Plantenwortels maken gebruik van de gangen die wormen graven.



Groenbemesters tussen en vooral na de teelt van hoofdgewassen hebben als extra voordeel dat de bodem in die periode ook beter beschermd is tegen weer en wind. Ze kunnen helpen om erosie te beperken en plantenziekten en plagen te onderdrukken. Op de korte termijn kan een tussengewas misschien wat opbrengstderving geven, maar op de langere termijn betaalt de investering zich ruim terug. Ook de keuze om bijvoorbeeld stro achter te laten, in plaats van het te verkopen, betaalt zich op de middellange termijn vaak weer terug door een hogere bodemvruchtbaarheid en daarmee een hogere productie.

Ook de keuze van het ene of het andere plantenas kan grote gevolgen hebben voor de organische stof in de bodem. Waar het ene ras veredeld is op een zo hoog mogelijke opbrengst aan oogstbaar product, en zo min mogelijk 'nutteloze' biomassa zoals plantenwortels, kunnen andere rassen een veel betere aanvoer geven van organische stof naar de bodem in de vorm van wortels of gewasresten.

### Subtielere grondbewerking

Met grondbewerking kun je gewasresten onderwerken, onkruid en ziekteverwekkers bestrijden, de bodemstructuur op korte termijn verbeteren en een optimaal zaaibed maken voor de kieming en ontwikkeling van planten. De basis van die grondbewerking bestaat in Nederland meestal uit ploegen.

Naast de positieve effecten, heeft grondbewerking een aantal negatieve kanten. Ploegen begraaft een belangrijk deel van het bodemleven dat zich vooral in en op de bovenste vijftien centimeter bevindt. Het verstoort daarnaast alle poriën en gangen die in de bodem zijn gevormd door plantenwortels en bodemleven. Ploegen kan ook een zogeheten ploegzool veroorzaken: een verdichte laag net onder de ploegdiepte. Op hellingen neemt bovendien het risico op erosie toe door ploegen. In het beste geval vermengt de ploeg de organische

Tijdens 'bovenover ploegen' rijdt de tractor op het ongeploegde land en niet in de voor.



---

## Met GPS kan de boer altijd over exact hetzelfde spoor rijden

stof door de hele bouwvoor, terwijl die juist aan het oppervlak en in de bovenste laag een belangrijke functie heeft als bescherming tegen de invloed van weer en wind en als basis voor de biodiversiteit. Door de extra beluchting bij het ploegen breekt de organische stof sneller af dan in een bodem die met rust wordt gelaten. In het slechtste geval komt de organische stof door het ploegen grotendeels onderin de bouwvoor terecht, bovenop de verdichte ploegzool. Als het dan ook nog nat is, ontstaat juist gebrek aan zuurstof en wordt de afbraak geremd.

Op kleigronden wordt – in de gematigde klimaatzone – vaak in de herfst geploegd. Daardoor is het niet mogelijk om in de winter een groenbemester te telen. Ploegen past goed bij het oude paradigma waarin de bodem als levenloos substraat wordt beschouwd en waarbij eenzijdig

wordt gekeken naar de kortetermijndienst van snelle voedselproductie.

Bij een agro-ecologische benadering past een minder intensieve grondbewerking. Voor akkerbouw op hellingen, zoals op de lössgronden in Zuid-Limburg, is ploegen soms zelfs niet toegestaan. Daardoor wordt weliswaar erosie bestreden, maar ontstaat tegelijk een hogere onkruid- en ziektedruk. Er worden inmiddels steeds meer alternatieve grondbewerkingssystemen ontwikkeld en toegepast, waarbij de grond minder intensief of helemaal niet-kerend wordt bewerkt, terwijl tóch de onkruiden en andere plagen worden tegengehouden.

### Lichtere machines

De laatste vijftig jaar zijn de landbouwmachines steeds groter en zwaarder geworden. Dit ging



Door inzet van robots kunnen landbouwmachines lichter en nauwkeuriger worden.

samen met monocultuur, schaalvergroting en een toenemende specialisatie. Kleine akkertjes met ieder jaar een ander gewas, maakten plaats voor enorme lappen grond met één gewas, waar grote machines op werden ingezet. Deze ontwikkeling heeft voor de bodemkwaliteit een aantal negatieve kanten. De bodemverdichting is, ondanks bredere banden en verlaagde bandenspanning, flink toegenomen. Omdat grote machines hand-in-hand gaan met monocultuur – anders zijn de dure machines niet rendabel in te zetten – is ook de gezondheid van de bodem afgenomen. De problemen met de bodemstructuur, die vaak door de mechanisatie zijn ontstaan, worden in veel gevallen met nóg meer mechanisatie opgelost.

De beste remedie tegen bodemverdichting is het vermijden van hoge bodemdruk door berijding.

Ook het bewerken van te natte grond, mogelijk geworden door de zware landbouwmachines, is funest voor de structuur. Als er geploegd moet worden is het zogenoemde ‘bovenover ploegen’ beter voor de bodem dan gewoon ploegen. Tijdens dat bovenover ploegen rijdt de tractor niet meer met een wiel door de ploegvoor, die daardoor verdicht wordt, maar rijdt hij volledig op de nog ongeploegde grond.

Bodemverdichting kan ook worden beperkt door ervoor te zorgen dat de bodemdruk van banden of rupsen altijd op dezelfde plek plaatsvindt. Dit gebeurt bijvoorbeeld met systemen voor vaste rijpaden, waarbij met behulp van GPS-aansturing altijd exact over hetzelfde spoor wordt gereden. De grond tussen de sporen blijft dan onverstoord. Oplossen van (ondiepe) bodemverdichting is

mogelijk door grondbewerking. Ook biologische maatregelen, zoals het bevorderen van regenwormen door voldoende aanvoer van gewasresten en goed waterbeheer, en de teelt van groenbemesters met een uitgebreid wortelstelsel kunnen ondiepe bodemverdichting voorkomen. Bodemverdichting dieper in de grond is lastiger aan te pakken.

Combinaties van mechanische en biologische oplossingen werken vaak het best. Maatregelen die bodemverdichting voorkomen sluiten ook perfect aan bij systemen met minder intensieve grondbewerking. Als de bodem niet meer verdicht wordt, hoeft dit ook niet meer opgelost te worden met intensieve grondbewerking.

In plaats van één grote, zware machine met een bestuurder erop, ontvouwt zich een toekomstperspectief van precisielandbouw, met kleine, automatische en lichte machines, of zelfs robots, die op de vierkante centimeter de boer, de bodem en het gewas kunnen bedienen. Die nieuwe machines kunnen worden ondersteund door drones die de actuele bodem- en gewastoeestand meten. Zo'n omschakeling maakt tegelijkertijd heel andere teeltsystemen mogelijk, zoals het veel meer gemengd of in stroken telen van gewassen en de ontwikkeling van daaraan aangepaste mechanisatie.

### **Variatie in gewassen**

Variatie in gewassen in de tijd, ofwel vruchtwisseling, is een effectief instrument in de beheersing van ziekten en plagen. Vruchtwisseling heeft niet alleen een belangrijk effect op de bodemgezondheid. Het bevordert ook de bodemstructuur, de bodembiodiversiteit, en de benutting van plantenvoedingsstoffen, en het vermindert de onkruiddruk. Wanneer in de vruchtwisseling vooral zogeheten rooivruchten worden opgenomen, zoals aardappelen, bieten of peen, en weinig maaivruchten zoals granen, is dat slecht voor de bodemstructuur. Rooivruchten vragen immers om intensie-

vere grondbewerking en ook de grote massa van gewassen die onder soms slechte omstandigheden moeten worden geoogst, komt de bodem niet ten goede.

Wanneer ook groenbemesters in de vruchtwisseling worden opgenomen, zorgt dat voor minder uitspoeling van voedingsstoffen, een betere bodembescherming, meer aanvoer van organische stof en een betere structuur door de intensieve doorworteling. Wanneer die groenbemesters ook nog vlinderbloemigen bevatten, zoals klaver, zorgt dat voor natuurlijke stikstofvoorziening in de bodem. Verder kunnen groenbemesters voedingsstoffen vrijmaken uit de soms moeilijk opneembare bodemreserves.

Behalve variatie van gewassen in de tijd kan ook variatie van gewassen in de ruimte soelaas bieden. Mengteelt, waarbij verschillende gewassen door elkaar, of om en om in stroken worden geteeld, kan bijvoorbeeld de verspreiding van bovengrondse ziekten en plagen afremmen. Voor gespecialiseerde ziekteverwekkers is immers minder bladoppervlak beschikbaar in vergelijking met monocultuur. Gewasdiversiteit in de ruimte kan ook invloed hebben op de bodemkwaliteit. Gewas- en groenbemestermengsels kunnen een aantal functies combineren zoals type doorworteling, vermogen tot vasthouden van uitspoelbare nutriënten en het vermogen tot stikstofbinding. Daarnaast kunnen mengsels efficiënter omgaan met voedingsstoffen en zijn ze vaak weerbaarder tegen extreme omstandigheden. Een ander gunstig effect van gewasdiversiteit is dat het meer overlevingskansen biedt aan nuttige dieren op het veld. Zo is bijvoorbeeld aangetoond dat nuttige spinnen en kevers die plaaginsecten kunnen bestrijden, meer voorkomen in 'strokenteelt' dan in monoculturen.

Meer gewasdiversiteit betekent automatisch dat ook de grootschalige mechanisatie aangepast moet worden; die is immers gericht op monoculturen.

**Mengteelt van verschillende gewassen biedt meer kansen voor nuttige insecten, kan meer opbrengen én kan meer koolstof opslaan in de bodem dan monocultuur.**



### **De ene plant is de andere niet**

Zelfs binnen één gewas kan het ene of het andere ras een groot verschil maken. De keuze van het ras is dan ook een krachtig en vaak nog onderschat instrument voor een meer duurzaam bodembeheer. Er bestaat grote genotypische variatie binnen gewassen en soms zelfs binnen het bestaande rassensortiment, in bijvoorbeeld de doorworteling en wortelmassa, de stikstofefficiëntie en het vermogen om nutriënten vrij te maken uit de moeilijk opneembare bodemreserves.

Moderne rassen zijn meestal ontstaan uit het technologische landbouwparadigma van de twintigste eeuw. Ze zijn ontwikkeld voor geploegde grond, makkelijk opneembare nutriënten, de beschikbaarheid van pesticiden en teelt in monocultuur. Werkend vanuit een agro-ecologische benadering zijn er andere rassen nodig. De soms lagere opbrengsten van conserveringslandbouw of

biologische landbouw zijn deels het gevolg van het feit dat plantenrassen niet specifiek zijn ontwikkeld voor die vorm van landbouw. Zo is er een verschil in de mate waarin tarwerassen zich kunnen aanpassen aan de veranderende bodemcondities onder conserveringslandbouw of biologische landbouw. Voor maïsrassen blijken er bijvoorbeeld grote verschillen voor te komen in type beworteling, en voor grassen blijkt bij vergelijkbare bovengrondse productie grote variatie te bestaan in de ondergrondse biomassa. Er ligt in de plantenveredeling nog een grote uitdaging om rassen te ontwikkelen die passen in concepten die gericht zijn op duurzamer bodembeheer.

### **Naar een bodemverbeterende landbouw**

Waar de twintigste eeuw werd gekenmerkt door landbouw die de bodem zag als een levenloos substraat, waarmee je met behulp van mechanisa-

tie en chemie bijna kon doen wat je wilde, is in de eenentwintigste eeuw duidelijk geworden dat het roer om moet. Hiervoor is een heel andere benadering van bodembeheer nodig: de bodem als levend onderdeel van het agro-ecosysteem.

Naast technische oplossingen is er een verandering nodig in de manier waarop we als maatschappij en economie kijken naar landbouw en voedsel. De ruimte van de teler om over te gaan op een meer bodemvriendelijk management wordt beperkt door de knoet van het kortetermijndenken in onze economie. Deze visie past niet bij investeringen in bodemkwaliteit die zich vaak pas op de lange termijn terugbetalen, soms zelfs pas na generaties. Tegenwoordig betalen boeren in Nederland steeds hogere pachtprizen voor steeds kortere pachtperiodes. Het is voor een boer dus minder relevant hoe de bodemkwaliteit op de lange termijn is. Er moet binnen de pachtperiode zoveel mogelijk geld verdiend worden, langetermijninvesteringen in bodemkwaliteit worden onder die omstandigheden nooit terugverdiend.

Ook de opleiding van jonge boeren en adviseurs op het gebied van bodemverbeterende landbouw moet beter. De meesten van hen zijn nog opgeleid binnen het landbouwparadigma van de twintigste eeuw. Het is ontegenzeggelijk veel moeilijker om voor je eigen situatie een slimme combinatie van een groot aantal instrumenten toe te passen vanuit een langetermijnvisie, dan te sturen met conventionele maatregelen als intensieve grondbewerking en chemie.

Met het huidige pakket instrumenten is echter al veel verbetering mogelijk. Biologische landbouw en conserveringslandbouw kunnen zorgen voor een betere bodemkwaliteit en zijn in veel gevallen ook economisch rendabel. Toch zijn er nog voldoende uitdagingen, bijvoorbeeld bij de teelt van maïs. De huidige manier van werken zorgt vaak voor een slechte structuur van de bodem. Het telen van zogenoemde 'kort-seizoensmaïs' kan

een oplossing zijn. Doordat die maïs vroeger, en dus onder gunstiger weersomstandigheden kan worden geoogst, kan schade aan de bodem worden voorkomen. Dat laat bovendien ruimte voor de nateelt van een groenbemester of een wintervoedergewas. Ondanks een lagere maïsofbrengst kan zo over het gehele seizoen een beter resultaat worden behaald.

Om op een breed front over te kunnen gaan op bodemconserverende of zelfs bodemverbeterende landbouw moet er de komende jaren gericht ingezet worden op kennisontwikkeling en innovatie. Naast een beter begrip van agro-ecologische interacties die het functioneren van de bodem kunnen versterken, is er een transitie nodig naar slimme mechanisatie en beter onkruidbeheer en zal de veredeling rassen moeten ontwikkelen die beter passen bij bodemverbeterende concepten. De methodiek van minder intensieve grondbewerking moet daarbij verder ontwikkeld worden en ingepast in een vernieuwde systeemaanpak. Daarnaast zijn er indicatoren en modellen nodig die beter de langetermijneffecten van combinaties van maatregelen kunnen voorspellen, en telers kunnen ondersteunen bij de complexe afwegingen die een beter bodembeheer vergt in specifieke situaties.

# Veredelaar moet ondergronds

**E**EN GOEDE teelt van landbouwgewassen vraagt de juiste combinatie van de maatregelen van de boer en de eigenschappen van de plant. Die eigenschappen van deze planten zijn in de afgelopen tijd soms drastisch veranderd door selectie en veredeling. De plantenveredelaars hebben zich daarbij vooral gericht op het verbeteren van de eetbare delen van de gewassen. Ze hadden weinig aandacht voor de ondergrondse eigenschappen, zoals betere worteling of efficiëntere opname van voedingsstoffen uit de bodem. Dat hoefde ook niet zo nodig, dacht men. 'Voedingsstoffen die uit de kunstmest komen zijn voor de plant toch makkelijk in water oplosbaar en opneembaar, te vergelijken met een infuus-systeem.'

Door die benadering zijn de plantenwortels langzaam 'lui' geworden. Onderzoekers van de universiteit in Wageningen hebben dat aan kunnen tonen door moderne uienrassen met oude rassen te vergelijken. De rassen die voor de jaren vijftig zijn veredeld, blijken inderdaad meer wortels te hebben dan de moderne rassen die bij gebruik van kunstmest zijn geselecteerd. Dat heeft veredelaars aan het denken gezet. Zou een plant met een uitgebreider wortelstelsel niet beter in staat zijn om voedingsstoffen uit de bodem te halen, en daardoor minder afhankelijk zijn van continue bemesting en watertoevoer van buitenaf? En zouden daarmee ook niet minder voedingsstoffen verloren gaan door uitspoeling na hevige regenbuien.

## Steeds nieuwe eisen aan gewassen

Plantenveredelaars zijn altijd op zoek naar nog betere rassen door planten met gewenste eigenschappen met elkaar te kruisen. Door vervolgens de zaden te oogsten en weer uit te zaaien, kan de veredelaar in de nakomelingen zoeken naar die planten die de goede eigenschappen van de ouderplanten combineren. Op die manier heeft de consument in de loop der jaren een rodere tomaat en een zoetere peen gekregen. Ook de teler heeft zo zijn wensenlijstje: die wil zijn kolen langer kunnen bewaren, aardappels telen die beter bestand zijn tegen ziektes, of uien met vastere rokken, die bij de machinale oogst niet snel loslaten waardoor zijn uien minder uitdrogen. Inmiddels stelt ook het veranderende klimaat eisen aan een gewas. Meer onvoorspelbare perioden van droogte of juist teveel regen vragen veel van planten. Boeren willen planten die zich snel kunnen aanpassen aan wisselende weersomstandigheden en minder afhankelijk zijn van constante toevoer van dure voedingsstoffen en water. Maar veredelen kost tijd. Na een kruising duurt het ongeveer tien jaar voordat een nieuw ras op de plank ligt bij de zaadhandel. Veredelaars moeten altijd ver vooruit kijken en bedenken wat de landbouw in de toekomst nodig zal hebben.

## Meer met minder

De landbouw wil en moet milieuvriendelijker en duurzamer worden, en minder afhankelijk van eindige grondstoffen zoals fosfaat of van stikstofrijke kunstmest die veel energie kost om te maken. Een toekomstige landbouw heeft bijvoorbeeld



koolrassen nodig die zelf 'meer met minder' kunnen doen, dus minder mest nodig hebben en toch een goede oogst kunnen leveren. Of een slaplant die minder afhankelijk is van beregening, en zelf beter in staat is water uit diepere lagen van de bodem te halen. Het is inmiddels duidelijk dat sla daartoe niet per se meer wortels nodig heeft. De plant moet wel in staat zijn om snel extra wortels te maken als er een onverwachte, lange periode van droogte is. Onderzoek laat zien dat zulke 'flexibele' rassen een betere opbrengst geven en vooral meer oogstzekerheid. Dat is misschien wel wat de toekomstige landbouw nodig heeft: planten die

**Het maïsras in de eerste zes rijen op de voorgrond vertoont fosfaatgebrek (paarse kleur). Het wortelstelsel is minder sterk ontwikkeld (minder wortels en/of minder mycorrhiza) dan bij het maïsras erachter.**

zelf veerkrachtig genoeg zijn en flexibel kunnen reageren op wisselende weersomstandigheden. En het mooie is: tussen de moderne slarassen zit veel variatie in de eigenschap 'flexibiliteit'. Met die variatie kunnen veredelaars aan de slag.

### **Samenwerken met de bodem**

Naast wortels, is er nog een andere manier waarop planten de benodigde voedingsstoffen uit de bodem kunnen halen. Uienplanten hebben eigenlijk onhandig dikke wortels met weinig zijwortels. Dat probleem kunnen ze ondervangen door samen te werken met mycorrhiza's, bodemschimmels die in symbiose leven met plantenwortels, en met hun schimmeldraden als het ware een verfijnde uitbreiding vormen van het wortelstelsel. Via die schimmeldraden nemen mycorrhiza's voedingsstoffen op voor de plant. Er blijken verschillen te zijn tussen uienrassen wat betreft hun samenwerking met mycorrhiza's; sommige doen dit beter dan andere. Ook dit opent nieuwe perspectieven voor veredelaars.

De conclusie is dat planten meerdere slimme mechanismen kennen om efficiënt water en voedingsstoffen op te nemen, zonder afhankelijk te zijn van extra bemesting en watergiften. Dat biedt mogelijkheden rassen te ontwikkelen die 'meer met minder' doen, en op die manier kunnen bijdragen aan een duurzame landbouw.

*Prof. Edith Lammerts van Bueren*

## Akkerbouwer Erwin Westers (29) van 'De Horaholm' uit Hornhuizen: En de boer, hij ploegde niet langer v

**W**IE DE werkschuur betreft van de 'Maatschap Westers', vlak onder de dijk langs het Groninger Wad ten westen van Pieterburen, ziet naast een trekker onder andere een soort grote freesmachine staan. 'Dat is een volveldschof-feltuig', legt zoon Erwin Westers uit. 'Met die machine kunnen we aan het eind van een groei-seizoen plantenresten een beetje onder werken.' Naast de frees staat een machine die met wat fantasie door een leek nog wel voor een ploeg kan worden versleten. Onder licht gebogen 'messen' zitten een soort voetjes die door de grond kunnen worden getrokken. 'Dat is geen ploeg maar een grubber', verbetert Westers. 'Na de oogst van de aardappels of de penen trekken we die voetjes heel lichtjes door de bovenste paar centimeter van de bodem, om wat extra waterberging te creëren. Een ploeg gaat veel dieper, die gaat meer dan 30 centimeter diep. Maar zo'n klassieke ploeg hebben we niet meer. Die hebben we in 2008 verkocht; niet meer nodig!'

Boeren zonder ploeg heeft nogal wat voeten in de aarde, legt Westers uit. 'De gangbare landbouw-voorlichting kan op zo'n moment niet heel veel meer voor je betekenen. Gelukkig zijn er her en der in Nederland, en ook in Duitsland, wel meer boeren die aan niet-kerende landbouw doen. Mijn vader of ik gaan ieder jaar ook wel naar bijeenkomsten met de voorlopers in deze praktijk. Daar komen we altijd met nieuwe inzichten en technieken vandaan. Maar het blijft absoluut pionieren, dat is waar.'

### Geen mest

Een jaar nadat de familie Westers de ploeg de deur uit deed, zworen ze ook de dierlijke mest af. 'Als biologische boeren gebruikten we onder andere mest van biologische geitenhouders. Maar dat is relatief duur en moet soms van ver komen. Op een gegeven moment vroegen we ons af waarom wij onze groenbemesters, zoals klaver en luzerne, eerst oogstten om het vervolgens "door een dier te laten gaan" en het dan als dierlijke mest weer op het land te brengen. De mineralen uit de planten worden niet heel anders van een tochtje door het maag-darmkanaal van een geit. Bovendien kwam met de mest ook heel veel hardnekkig wortelonkruid mee, zoals zuring. Daar hadden we vervolgens een hoop werk aan om dat uit te steken. Vandaar dat we over zijn gestapt op het direct bemesten van ons land met de planten zelf. Groenbemesters zijn planten die stikstof uit de lucht kunnen vastleggen via de bacteriën in wortelknolletjes. Dat is een stuk natuurlijker en ook goedkoper dan via mest. Om van kunstmest maar te zwijgen.'

Het pionieren van de familie Westers bestaat vooral uit het puzzelen wanneer ze welke gewassen en groenbemesters moeten zaaien. 'Afgelopen jaar hebben we bijvoorbeeld eind oktober, na de oogst van de wortels, een winterharde klaversoort gezaaid. Dat lijkt misschien vrij laat, maar de planten hebben tot in het voorjaar op het land gestaan. We hebben dan ook volop geprofiteerd van de stikstof die de planten uit de lucht in het land hebben gestopt. Door het natte voorjaar moest het helaas iets té lang op het land blijven, waardoor het te hoog werd. Na de oogst van de groenbemesters



moesten we dan ook een extra ronde over het land maken om de bodem weer geschikt te maken voor het zaaien van de wortels. En zo zijn we alle jaren wel aan het puzzelen hoe we het ene op het andere gewas kunnen laten aansluiten.’

### Losse korrels

Spijt dat ze de ploeg de deur uit hebben gedaan, heeft de familie Westers nog geen seconde gehad, benadrukt zoon Erwin. ‘Door al dat ploegen ontstaat in de bodem een onnatuurlijke scheiding tussen, wat wij noemen, bekwame en onbekwame grond. Nu wij niet meer ploegen heeft de bodem een veel mooiere structuur. En het mooiste is: hoe langer we niet ploegen op een stuk grond, hoe dieper je de mooie, korrelige structuur ziet terug-

keren. Vroeger hadden we op ons bedrijf wel een hectare of twintig vreselijk zware klei. Daar was bijna geen doorkomen aan met de ploeg. Sinds we ook dat land niet meer ploegen, kunnen we daar door de verbeterde structuur van de bodem zonder al te veel moeite weer “ruggen” op maken om bijvoorbeeld aardappels in te poten. En de bodem vaart er ook meetbaar wel bij. Het belangrijke gehalte aan organische stof is sinds we niet meer ploegen omhoog gegaan van 1,6 naar 2,1%. Dat is pure winst.’

### Erkenning

Stukje bij beetje maakt de aanpak van de Maatschap Westers – en van de andere biologische boeren zonder ploeg – school. ‘We hebben pas ook een tijdje een masterstudent uit Wageningen op ons bedrijf gehad. Die heeft onderzocht wat deze aanpak met de oogstbare gewassen doet. We halen weliswaar iets minder oogst van een hectare, maar de gehalten aan voedingsstoffen van onze aardappels en wortels zijn per kilo wel meetbaar hoger.’

Wie de aanpak ook weten te waarderen, zijn de vogels op het land van Westers. ‘Kieviten vinden bij ons veel meer nestmateriaal en vooral ook veel meer insecten in de losse bodem. Ze hoeven maar een paar keer te trappelen, en de wormen komen al naar boven. En laatst hadden we een grauwe kiekendief op één van onze akkers. Daar houden we dan uiteraard ook rekening mee bij het werk.’

*Ir. Rob Buiten*



**In de bodem huist niet alleen veel goeds, ook veel ziekten zijn aan de bodem gebonden. Tegelijk schuilen in diezelfde bodem ook oplossingen om die ziekten te bestrijden.**

■ PROFESSOR WIETSE DE BOER

**T**USSEN 1845 en 1852 werd Ierland getroffen door een langdurige hongersnood. Net als in de rest van Europa heerste er in die periode een grote uitbraak van ‘de aardappelziekte’. Overal in Europa mislukten de oogsten. Omdat in Ierland relatief veel mensen afhankelijk waren van de aardappel als stapelvoedsel, ging deze uitbraak internationaal de geschiedenis in als de ‘*Irish Potato Famine*’. Anderhalf miljoen mensen stierven en nog eens tweeëneenhalf miljoen emigreerden, waardoor Ierland in één klap bijna de helft van de bevolking verloor. In Ierland en elders ter wereld waar de immigranten neerstreken, zijn er zelfs speciale gedenktekens aan deze periode gewijd.

Onder andere door deze geschiedenis is de aardappelziekte waarschijnlijk een van de meest bekende plantenziekten. Ook diverse andere plantenziekten kunnen een groot probleem vormen in de land- en tuinbouw. De schade aan gewassen kan variëren van verminderde groei, en dus minder productie en inkomen voor de boer, tot complete verwoesting van een gewas. Dat dit niet alleen schadelijk is voor het inkomen van de boer bewijst de *potato famine*.

De aardappelziekte wordt veroorzaakt door *Phytophthora infestans*, een zogeheten oömyceet die

lijkt op een schimmel, maar dat feitelijk niet is; vandaar de benaming pseudo-schimmel. De bron van infectie zijn veelal besmette aardappelknollen die na de oogst in de bodem achterblijven. Het aardappelopschot dat in het voorjaar verschijnt zit vol met sporen die zich verspreiden via de wind en de epidemie op gang brengen. Het geslacht *Phytophthora* wordt ingedeeld bij de oömyceten. Het merendeel van de ruim 120 *Phytophthora*-soorten is bodemgebonden, dat wil zeggen dat ze leven in de bodem en ook de verspreiding voornamelijk in de bodem plaatsvindt. Daarnaast zijn er veel andere bodemgebonden oömyceten, zoals soorten in de geslachten *Pythium* en *Aphanomyces*, die ook berucht zijn als ziekteverwekkers.

Ook onder de ‘echte’ schimmels zijn verschillende bodemgebonden soorten die schadelijk zijn voor landbouwgewassen. In Nederland veroorzaken onder andere soorten uit de geslachten *Fusarium*, *Rhizoctonia* en *Verticillium* grote problemen. Daarnaast kan de bodem een infectiebron zijn voor plantenziekteverwekkende bacteriën, zoals enkele *Erwinia*- en *Ralstonia*-soorten.

Zet daar ook nog eens de plantparasitaire aaltjes bij, en het lijkt wel of de bodem één grote bron van ellende is. In werkelijkheid is slechts een uiterst klein deel van de micro-organismen in de bodem

schadelijk voor planten. Helaas is het wel een minderheid die zich sterk kan laten gelden.

### Voorkomen beter dan genezen

De grote problemen die ziekteverwekkers (pathogenen) kunnen veroorzaken, hebben te maken met de manier waarop wij de meeste gewassen verbouwen: in een monocultuur van allemaal dezelfde planten, die vaak ook nog dezelfde genetische eigenschappen hebben en al dan niet vatbaar zijn voor bepaalde ziekteverwekkers. Als er dus één plant geïnfecteerd wordt, kan de ziekte zich snel verspreiden over het hele veld.

Vanuit het oogpunt van opbrengst en oogstbaarheid, is het telen van gewassen in monocultuur natuurlijk te begrijpen. Tegelijk creëert de boer ideale omstandigheden voor de in de bodem aanwezige ziekteverwekkers om zich sterk uit te breiden. Gedurende het groeiseizoen neemt hun aantal gestaag toe. Als de boer in een volgend jaar op hetzelfde perceel weer hetzelfde gewas verbouwt, krijgen deze ziekteverwekkers steeds meer kans om schade aan te richten. Dit fenomeen is al heel lang bekend. Daarom zijn landbouwers in de Middeleeuwen op een gegeven moment overgegaan op zogenoemde vruchtwisseling: niet steeds hetzelfde gewas verbouwen op hetzelfde perceel. Door de gewassen in een rotatie te verbouwen, hebben de ziekteverwekkers die gespecialiseerd zijn in het infecteren van een bepaald gewas geen kans om zich ongeremd uit te breiden. In de jaren dat er andere gewassen op het veld staan, gaan de ziekteverwekkers vaak sterk in aantal achteruit.

### Hulp van de chemie

Helaas lost gewasrotatie niet alle problemen met ziekteverwekkers op. Er zijn soorten die heel lang in gewasresten kunnen overleven. Een bekend voorbeeld is *Fusarium*, een schimmel die vele jaren kan overleven in percelen waarop asperge is verbouwd. Daarnaast zijn er ook minder kies-

keurige soorten. Die kunnen zich op verschillende gewassen vermeerderen, zonder dat ze bij al die gewassen ziektes veroorzaken. En er zijn ziekteverwekkers die zich heel snel binnen één seizoen kunnen uitbreiden als de gewassen verzwakt raken, bijvoorbeeld door extreme weersomstandigheden. Voor die ziekteverwekkers waartegen gewasrotatie niet volstaat worden vaak chemische bestrijdingsmiddelen ingezet.

Fungicides en nematicides – synthetische middelen die schimmels en aaltjes bestrijden – zijn op dit moment de meest gebruikte chemische

Een monument in Dublin ter herinnering aan de 'aardappelziekte' die in de negentiende eeuw met name in Ierland hard heeft toegeslagen.



bestrijdingsmiddelen in de Nederlandse landbouw. Bekende fungicides zijn Maneb en Mancozeb, met dicarbamaten als werkzame stof. Maar de maatschappij en de overheid willen liefst zo veel mogelijk van al die synthetische middelen af. Er zijn ontegenzeggelijk giftige bijwerkingen en de consument vraagt meer en meer om duurzaam geproduceerd voedsel.

### Biologische bestrijding

Er bestaan ook steeds meer biologische alternatieven voor chemische bestrijdingsmiddelen. Voor de bestrijding van ziekteverwekkende bodemschimmels zijn dit vaak andere bodemmicro-organismen, die de ziekmakende organismen zouden moeten doden of wegconcurreren bij de wortels van gewassen.

De ontwikkeling van een microbiologisch bestrijdingsmiddel begint met testen in het laboratorium. Bacteriën en schimmels worden vanuit de bodem of plantenwortels opgekweekt en daarna gescreend op hun vermogen om ziekteverwekkende schimmels in een kweekschalpje te remmen. De bacteriën en schimmels die dat het beste doen worden verder getest in kasproeven, om te zien of ze ook daadwerkelijk de aantasting van de planten door pathogene schimmels onderdrukken.

Als de geselecteerde microben ook de ziekteverwekkers op de plant remmen, worden ze getest in veldexperimenten. Er zijn ondertussen al veel producten in de handel die dit soort onderdrukkende microben bevatten, en dus als (micro)biologisch bestrijdingsmiddel kunnen worden toegepast. Toch is het succes van deze middelen helaas nog beperkt. Het lijkt erop dat in veel gevallen de variatie in biologische, chemische en fysische omstandigheden in de bodem te groot is om een consistente onderdrukking van ziekten te krijgen.

Een van de problemen is dat de beschermende microben zich, na verspreiding op het gewas, moeten vestigen op plaatsen langs het wortelstelsel



waar ook ziekteverwekkers actief zijn. In de bodem zitten echter ook veel andere soorten micro-organismen die zich rond de wortel vestigen. Die wortel is namelijk een bron van voeding voor microben. Wortels scheiden onder andere suikers, aminozuren, en andere organische producten uit. De natuurlijke microben zijn goed aangepast aan de bodemomstandigheden. Ze winnen doorgaans dan ook de slag om de uitgescheiden voedingsstoffen van de microben die door de boer worden toegediend bij wijze van biologische bestrijding. Het resultaat is dat de toegediende microben vaak niet aanslaan, en er dus ook geen beschermende werking optreedt.

Een ander probleem is dat de werking van micro-organismen in bestrijdingsmiddelen vaak is gebaseerd op de productie van een of andere chemische component door de microbe, die de ziekteverwekker moet remmen of doden. Eigenlijk is biologische bestrijding dus chemische bestrijding op microschaal! De productie van die remstoffen

**In bloemrijke akkerranden leven verschillende insecten die kunnen helpen bij het bestrijden van plagen.**



De meeste plantenwortels leven in symbiose met mycorrhizavormende schimmels.

is weer afhankelijk van de groeiomstandigheden van de microben. Die groeiomstandigheden zijn in de bodem vaak heel anders dan op de kweekmedia in laboratoria of in de gesteriliseerde potgrond die vaak in kasproeven worden gebruikt.

Onderzoek naar verbetering van de microben die de boer over zijn gewas kan verspreiden is in volle gang. Tegelijk wordt er ook naar andere mogelijkheden gekeken om ziekteverwekkers in de bodem in toom te houden.

---

Het succes van biologische bestrijders van bodemziekten is nog beperkt

## Laat de bodem het zelf doen

**E**EN MOGELIJKHEID die steeds meer aandacht krijgt, is het stimuleren van ziekteonderdrukkende microben die toch al in de bodem aanwezig zijn. Dergelijke microben zijn aangepast aan de lokale bodemomstandigheden, en zijn daardoor in het voordeel ten opzichte van microben die in laboratoria zijn gekweekt, en die zich daarna in de bodem moeten zien te vestigen.

Er zitten in de bodem al heel veel microben die van nature ziekten kunnen onderdrukken. Nagenoeg elk grondmonster laat een zekere mate van remming zien van ziekteverwekkende bodemschimmels. Deze remming kun je duidelijk herkennen wanneer je de vatbaarheid van een gewas voor een schadelijke bodemschimmel in gesteriliseerde grond vergelijkt met die in niet-gesteriliseerde grond. In het geval van gesteriliseerde grond is de ziektedruk van een toegediende pathogene schimmel (veel) groter dan in de niet-gesteriliseerde grond. Door sterilisatie schakel je dus blijkbaar een onderdrukkend effect uit. Dit onderdrukkende effect wordt veroorzaakt door andere micro-organismen.

Bij het in toom houden van schadelijke schimmels draait alles om concurrentie. In een gram grond zitten letterlijk duizenden soorten bacteriën en schimmels, om van het aantal individuen nog maar te zwijgen. Tegelijk is er schaarste aan voedingsstoffen. De meeste bacteriën en schimmels voeden zich met makkelijk afbreekbare organische stoffen zoals suikers. Het aanbod daarvan is heel beperkt, zelfs in de omgeving van plantenwortels. De bodemmicroben voeren daarom continu strijd om het schaarse voedsel. Sommigen gebruiken daarbij stoffen om concurrenten te onderdrukken. Een aantal van die stoffen wordt door ons gebruikt als antibiotica! (Zie ook de paragraaf op pagina 74).



In augustus 2009 werd deze akker aangelegd met proefveldjes van zes bij zes meter (foto links). De linkerstrook werd beheerd volgens de biologische, de strook rechts ernaast volgens de gangbare methode. Er werden verschillende behandelingen tegen wortellesie-aaltjes en verwelkingsziekte toegepast.

De behandeling die elf maanden later (juli 2010) het meest effectief bleek tegen de bodemziekten ligt toevallig op de biologische zowel als op de gangbare strook vooraan (foto rechts). Deze bestond uit: afrikaantjes als nagewas, toediening van compost



en toediening van gemalen garnalenhuidjes. Andere behandelingen waren onder meer een grondontsmettingstechniek waarbij organisch materiaal de grond in werd gewerkt, dat vervolgens werd afgedekt met folie (duidelijk te zien op de foto) om zuurstofarme omstandigheden te creëren.

De effecten op aardappel zijn in 2010 duidelijk te zien. In de eerste veldjes van beide stroken leidde de behandeling zowel in 'biologisch' als 'gangbaar' tot hogere opbrengst én hogere kwaliteit. Verder is te zien dat de verschillen tussen de behandelingen in 'biologisch' groter zijn dan in 'gangbaar'.

Ook ziekteverwekkende bodemschimmels ontkomen niet aan die concurrentiestrijd. Toch blijkt in de praktijk dat natuurlijke onderdrukking niet voldoende is om ziektes te voorkomen. De natuurlijke onderdrukking van pathogene bodemschimmels wordt ook wel fungistase genoemd. Je moet het vooral zien als een eerste natuurlijke buffer tegen ziektes. Maar als de hoeveelheid ziekteverwekkers in de bodem te veel toeneemt, bijvoorbeeld door teelten in monocultuur, dan zal een aantal van die ziekteverwekkers de wortels wél weten te bereiken.

### Help de natuurlijke weerbaarheid

De natuurlijke onderdrukking van ziekteverwekkende bodemschimmels wordt vooral bepaald door de activiteit en de samenstelling van de micro-organismen in de bodem. Dat zijn allebei eigenschappen die je door het beheer van de grond kunt sturen. Dit biedt dus ook mogelijkheden om de natuurlijke weerbaarheid van een bodem via gericht beheer te stimuleren.

Met organische meststoffen, zoals compost en ondergewerkte groenbemesters, kan een boer de microbiële activiteit van de bodem bevorderen. Deze meststoffen bevatten voedingsstoffen die



**Garnalenhuidjes worden toegevoegd om schadelijke bodemschimmels te bestrijden.**

essentieel zijn voor de natuurlijke microben. Maar ook de ziekmakende schimmels profiteren van organische mest. De timing van het bemesten is dan ook belangrijk. Het liefst wil je dat de natuurlijke bodemmicro-organismen de makkelijk afbreekbare onderdelen van de meststoffen al op hebben op het tijdstip dat de gewassen gezaaid of gepoot worden. Op dat moment gaan de jonge planten ook voedingsstoffen voor microben verspreiden via hun wortels. Als de bodem op dat moment goed vol zit met natuurlijke microben die geen ziekten veroorzaken, dan hebben de pathogenen minder kans om een infectieproces op gang te brengen.

Met specifieke meststoffen kan de boer ook bepaalde groepen micro-organismen stimuleren die extra goed zijn in het aanvallen van ziekteverwekkende schimmels. Een bekend voorbeeld zijn meststoffen die chitine bevatten. Die stof zit onder andere in de pantsers die overblijven na het pellen van garnalen. Door middel van mest met chitine, stimuleer je bacteriën die dit chitine kunnen afbreken. Dat zijn vaak dezelfde bacteriën die

schimmels aanvallen, omdat chitine een belangrijk onderdeel is van de celwand van schimmels. Helaas vallen niet alle chitine-afbrekende bacteriën de schimmels aan en ook de 'pseudo-schimmels' zoals *Phytophthora* zijn geen doelwit omdat ze geen chitine in hun celwand hebben. Er is dus meer onderzoek nodig om te kijken hoe je precies de juiste bacteriën kunt stimuleren.

Behalve met de juiste meststoffen, kan een boer ook via de plant zelf de weerbaarheid van de bodem vergroten. De wortels van de planten scheiden immers voedingsstoffen uit voor de microben in de bodem. De samenstelling van die voedingsstoffen bepaalt ook de samenstelling van de micro-organismen rond de wortel. Een boer of een plantenveredelaar zou dus kunnen kiezen voor juist die planten die de goede samenstelling hebben van hun zogenoemde wortellexudaten, die de ziekte-onderdrukkende microben stimuleren. Daarbij valt ook nog veel te leren van het onderzoek aan wilde verwanten van gewassen. Er zijn vermoedelijk nog diverse andere mogelijkheden om de natuurlijke weerbaarheid van bodems te stimuleren. Hoe dan ook begint al het onderzoek en al het beheer op dat gebied met de notie dat het duurzaam telen van gezonde gewassen hand in hand moet gaan met het beheren van het microbiële bodemleven.

## Effecten van antiparasitaire middelen op bodemdieren

■ DR. JOOST LAHR

**E**EN GEZOND ecosysteem in een bodem kun je wellicht maken, zoals hiervoor beschreven, maar je kunt hem ook breken. Een gezonde bodem met gezond bodemleven is onder andere afhankelijk van de bodemdieren die mest verwerken. Tegelijk schuilen in die mest tegenwoordig ook potentiële gevaren voor het bodemleven. Uit een onderzoek met mest van dieren die wel of niet met medicijnen waren behandeld tegen maagdarmwormen, blijkt dat die middelen hun werking nog niet zijn verloren wanneer ze het dier aan de achterkant verlaten.

### Leven op het grensvlak van bodem en bovengrond

De mest van landbouwhuisdieren als koeien, paarden en schapen zit vol met meer en minder verteerde plantenresten. Mest is dan ook een belangrijke bron van voedingsstoffen in de landbouw, in tuinen en ook in de natuur. Omdat mest boordevol

Dit mannetje van de gele strontvlieg is in afwachting van de landing van een vrouwtje om mee te paren.



zit met organische stof, zijn er vele ongewervelde diergroepen die zich hebben gespecialiseerd in het leven in en van de mest.

Uitwerpselen van grazende dieren worden vaak al binnen enkele minuten gevonden door verschillende soorten mestvliegen. Wie regelmatig in de natuur wandelt, heeft zeker wel eens gezien hoe de flatsen van runderen of verse paardenvijgen helemaal vol zitten met vliegen, zoals de gele strontvlieg. Je moet er oog voor hebben, maar als je zo'n vlieg van dichtbij bekijkt, ziet die er prachtig uit!

Ook mestkevers kunnen verse mest van grote afstand ruiken en komen snel aanvliegen als er weer een nieuwe hoop is gedeponeerd. Naast deze meest opvallende groepen bestaat de mestfauna uit regenwormen, kortschildkevers, mijten, pissebedden, springstaarten en nog vele andere groepen.

Deze 'mestfauna' gebruikt de mest niet alleen als voedsel, maar ook als broedplaats, dus voor de voortplanting. Dit kan op vele manieren. Zo zijn er bijvoorbeeld verschillende groepen mestkevers. Residente mestkevers, of 'dwellers' leven in de mest zelf en leggen hierin hun eieren. De gravers, of 'tunnelers' graven gangen onder of naast mestflatsen, brengen wat mest in die gangen aan en zetten er dan hun eieren in af. 'Rollers', zoals de bekende scarabee, maken ballen van de mest waarin zij hun eieren leggen. Behalve de regenwormen leven de meeste groepen mestfauna deels bovengronds en deels in de mest en onder de grond. Een mestflats vormt zo een tijdelijke leefomgeving voor een hele levensgemeenschap van organismen.

Na kolonisatie van de verse mest vindt een opeenvolging van diergroepen plaats. Ieder van deze groepen kent zijn eigen rol. Sommige keversoorten kauwen de grove mest in kleinere stukjes. De gangen die vliegen, kevers en hun larven graven dragen bij aan de beluchting, waardoor de mestafbraak gemakkelijker verloopt. De vliegen en de kevers trekken op hun beurt weer rovers aan, zoals kortschildkevers. Onder de mest verzamelen



**Mestkevers draaien een balletje mest om te begraven en een ei in te leggen.**

zich regenwormen die zich voeden met de mest en deze dieper de grond in brengen. Gaandeweg deze successie wordt de mest afgebroken.

Uiteindelijk doen bacteriën en schimmels in de bodem het echte werk, maar de ongewervelde mestfauna doet noodzakelijk voorwerk. Naast hun bijdrage aan de kringloop van organische stoffen en nutriënten in de bodem, is de mestfauna ook een belangrijke voedselbron voor hogere dieren. Jonge grutto's bijvoorbeeld eten per dag vele duizenden kleine insecten en insectenlarven. De aanwezigheid van verse mest in het juiste jaargetijde is dan ook een belangrijke factor voor de groei en overleving van jonge weidevogels.

### **Haperende mestverwerking**

Een gezonde mestfauna is dus van groot belang voor het natuurlijk verloop van de mestafbraak in de bodem en de rest van het ecosysteem bóven die bodem. Het gevolg van een niet functionerende

mestfauna werd pijnlijke duidelijk in Australië in de vorige eeuw. De inheemse mestfauna kan alleen leven van de mest van de van oorsprong op het continent aanwezige buideldieren. Toen de uit Europa afkomstige boeren andere zoogdieren als vee begonnen te importeren, zoals runderen, bleef de mest van deze dieren gewoon in het veld liggen doordat er nauwelijks afbraak plaatsvond. De weilanden waar de geïmporteerde dieren graasden vervuilden hierdoor ernstig, wat weer leidde tot onhygiënische situaties voor het vee.

Vanaf de jaren zestig van de vorige eeuw lanceerde Australië een grootschalig programma om op zoek te gaan naar uitheemse mestkevers. Meerdere soorten werden uitgetest en uiteindelijk uitgezet. Inmiddels hebben diverse soorten zich met succes over het continent verspreid en dragen zij hun steentje bij aan de mestverwerking. Het mag duidelijk zijn dat de 'Aussies' erg zuinig zijn op hun mestkevers. Het is één van de weinige landen waar mestkevers – zij het officieus – voorrang krijgen in het verkeer! *'Caution! Dung beetles have right of way.'*

### **Medicijnen bedreigen de bodemfauna**

Vee dat buiten in de wei verblijft, loopt bij het grazen verschillende parasieten op. Maagdarmparasieten tasten de darmwand aan en maken darmvlokken kapot, waardoor die minder voedingsstoffen opnemen, en de groei van de dieren wordt geremd. In het gras schuilen ook longwormen. Na opname via het maagdarkanaal, verhuizen de larven van deze parasieten naar de longen, waar zij nare infecties kunnen veroorzaken. In vochtige graslanden kunnen bovendien leverbotinfecties optreden. Na opname van gras met een cyste – het voorlaatste stadium in de levenscyclus van een leverbot – graaft deze platworm zich vanuit de darm een weg door het lichaam naar de lever. Daar kunnen de volwassen diertjes de galgangen verstoppen. Zulke leverbotinfecties kunnen dodelijk



**Gruttokuikens moeten het de eerste weken van hun leven hebben van insecten in het grasland.**

zijn voor bijvoorbeeld koeien, paarden of schapen. Om het vee van parasieten te ontdoen, gebruiken veehouders antiparasitaire middelen. Deze middelen staan ook wel bekend als ‘ontwormingsmiddelen’, omdat de belangrijkste parasieten nematoden zijn. Deze wormvormige aaltjes hebben evenwel niets te maken met regenwormen die in de bodem leven. De middelen laten de regenwormen dan ook ongedeerd.

Er zijn diverse groepen antiparasitaire middelen. Een veel gebruikte en zeer effectieve groep omvat de zogenaamde macrocyclische lactonen. Andere groepen zijn die van de benzamidazolen, pyrimidines en imidathiazolen. Verschillende van deze middelen worden ook in Nederland op grote schaal gebruikt zoals de macrocyclische lactonen ivermectine, doramectine en moxidectine bij paarden, schapen en runderen en een benzamidazol genaamd flubendazol bij varkens. De middelen worden vooral toegediend aan grazende dieren. Uit

het oogpunt van preventie gebeurt dit soms meerdere keren per jaar, zoals in de recreatiepaardenhouderij. Bij runderen worden in principe alleen de jonge pinken ontwormd bij hun eerste weidegang. De volwassen dieren zijn minder vatbaar voor de belangrijkste maagdarmparasieten.

Binnen, in stallen met varkens bijvoorbeeld, kunnen maagdarmparasieten ook zeer hardnekkige infecties veroorzaken. Daarom gebruiken varkenshouders veel flubendazol. Behalve in de veehouderij worden antiparasitaire geneesmiddelen ook gegeven aan grote grazers in natuurgebieden. Precieze gebruiksgegevens van antiparasitaire middelen in Nederland zijn helaas niet openbaar.

### **Effect van antiparasitaire middelen op bodemdieren**

Ivermectine is een veel bestudeerde stof. Het middel wordt na toediening grotendeels onveranderd uitgescheiden via het maagdarmkanaal en komt zo in de mest terecht. Zelfs na toediening via een injectie of als een pasta die op de huid wordt gesmeerd, wordt de stof met de mest uitgescheiden. Ivermectine wordt in het milieu langzaam afgebroken en is slecht oplosbaar. Het middel blijft dus in potentie langere tijd aanwezig in besmette mest en in de bodem.

Van ivermectine en aanverwante stoffen zijn de ecologische effecten op de mestfauna uitgebreid onderzocht. De middelen zijn uiterst toxisch voor geleedpotige dieren zoals insecten. Vooral de larven van mestvliegen en mestkevers zijn gevoelig. Het staat inmiddels vast dat een standaardbehandeling van vee met ivermectine leidt tot giftige mest, waarin veel belangrijke groepen mestinsecten niet kunnen overleven. In sommige studies werd ook gevonden dat deze effecten aanleiding geven tot een vertraging van de mestafbraak en dus een verstoring van de kringloop van organische stof en nutriënten.

In Nederland ontstond een aantal jaren geleden

In Australië en Zuid-Afrika worden de mestkevers gekoesterd.



een felle polemiek over het al dan niet optreden in het veld van de effecten die in de wetenschappelijke literatuur waren beschreven. Natuurbeschermers spraken al van 'dode koeienflatsen' en een gevaar voor de biodiversiteit, terwijl dit door veterinaire deskundigen werd afgedaan als indianenverhalen.

Om duidelijkheid te krijgen in deze strijd is onderzoek gedaan. De afgelopen tien jaar is gekeken naar de ecologische effecten van ivermectine in mest. Hierbij werd mest van paarden en koeien na een standaard behandeling met het medicijn een week in het veld gelegd om kolonisatie door

mestfauna te bewerkstelligen. Hierna werd de mest meegenomen naar het lab en 'uitgebroed' om te bepalen hoeveel van de in de mest gelegde eitjes zich ontwikkelden tot volwassen insecten.

Uit dit onderzoek bleek dat de ivermectine die in de mest terechtkomt wel degelijk leidt tot een flinke afname van het aantal levensvatbare larven. Met name verschillende talrijke groepen vliegen zoals huisvliegen (Muscidae), kleine mestvliegen (Sphaeroceridae), wapenvliegen (Sciaridae) en wenkvliegen (Sepsidae) hadden te lijden van het diergeneesmiddel. Ook keverlarven hadden last van de stof.

---

## Een gezonde mestfauna is van groot belang voor de bodem

In het Nederlandse onderzoek werd geen effect gevonden van het diergeneesmiddel op de afbraaksnelheid van de mest. Misschien is in ons land de insectenfauna minder belangrijk voor de afbraak van mest, omdat in ons gematigde klimaat veel regenwormen voorkomen die een groot deel van de verwerking en afbraak voor hun rekening nemen.

De effecten van ivermectine op de insectenlarven kunnen ook leiden tot een verminderd voedselaanbod voor weidevogels en andere dieren die zich voeden met kleine insecten. Of dit ook daadwerkelijk gebeurt, is tot op heden niet aangetoond. Misschien valt dit effect in de praktijk mee, omdat bij volwassen melkkoeien relatief weinig antiparasitaire middelen worden gebruikt.

Omdat in Nederland op grote schaal antiparasitaire middelen zoals ivermectine worden gebruikt bij diverse landbouwhuisdieren en grote grazers in natuurgebieden, is het aannemelijk dat de beschreven negatieve effecten op de mestfauna in ons land op veel plaatsten optreden. Toch zullen deze negatieve effecten niet snel tot een verbod op het gebruik van antiparasitaire middelen leiden. Daarvoor zijn de genoemde middelen eenvoudigweg te belangrijk bij de bestrijding van parasitaire infecties.

Het zou al helpen wanneer dierenartsen, veehouders en beleidsmakers zich bewust zijn van de risico's. Er zijn daarbij verschillende maatregelen te bedenken die de risico's kunnen beperken:

- Alleen behandelen als een parasitaire infectie is aangetoond en het dier hier last van heeft. Dus: curatief behandelen en niet preventief.
- Gebruik van minder giftige middelen. Benzimidazolen zoals flubendazol zijn minder toxisch voor de mestfauna maar geven wel sneller aanleiding tot resistentievorming.
- Gebruik van milieuvriendelijke toediening. Zogenaamde bolussen die voor langere tijd geneesmiddelen afgeven in de maag van dieren

zijn veel schadelijker voor de mestfauna dan eenmalige toedieningen.

- Mest van behandelde dieren op stal verzamelen, apart afvoeren en verwerken, bijvoorbeeld door verbranding. Hiervoor is het nodig de dieren na behandeling een aantal dagen op stal te houden.
- Kuddes in stappen behandelen, zodat er altijd voldoende niet-besmette mest in het veld komt waarin de mestfauna kan overleven en zich kan voortplanten.

Naar de effectiviteit van dit soort maatregelen is nog veel onderzoek nodig. Hierbij is de hulp van veehouders, dierenartsen en andere belanghebbenden nodig. Zij moeten gezamenlijk tot een praktijk komen van duurzaam gebruik van antiparasitaire middelen waarbij én de gezondheid van het vee wordt bevorderd én de nuttige mestfauna zoveel mogelijk wordt ontzien.

# Ziektewerende grond in de praktijk



**G**EZONDE BODEMS hebben door hun natuurlijke weerbaarheid de capaciteit om plantenziekten buiten de deur te houden. Maar hoe kan een boer praktisch gebruikmaken van deze kennis? De praktijk blijkt weerbarstig.

## Kiezen tussen een riskante of een dure bepaling

Onderzoekers kunnen in het laboratorium het vermogen bepalen van een bodem om bepaalde ziekten tegen te houden. Ze doen dit onder andere door een ziekteverwekker aan grond toe te voegen, samen met een vatbare plant: als de ziekte niet aanslaat, is de grond ziekteverwend. Zoiets zal een boer niet snel doen. Hij zou daarvoor moedwillig een ziekteverwekker aan zijn grond moeten toevoegen. Het alternatief – een beetje grond van het betreffende perceel in een pot doen voor een proef – is tijdrovend en voor de praktijk veel te duur. Bovendien heeft een boer weinig aan informatie over de weerbaarheid tegen één ziekteverwekker. In de praktijk kan hij te maken hebben met meerdere, soms onbekende pathogenen. Een boer werkt daarom veel liever met het begrip ‘algemene bodemkwaliteit’. De gedachte daarbij is dat wat goed is voor de bodem ook goed is voor een verhoogde weerbaarheid.

## Verandering van spijs

De belangrijkste, en tegelijk oudste algemene maatregel, om bodemgebonden ziekten buiten de bodem te houden, is het telen van gewassen in een zogeheten brede vruchtwisseling. Eens in de twee tot drie jaar terugkomen met hetzelfde gewas is

een nauwe vruchtwisseling. In zo'n relatief korte periode waarin waardplanten afwezig zijn, kunnen bodemgebonden ziekteverwekkers zich makkelijk handhaven. Eens in hooguit zes jaar hetzelfde gewas verbouwen op een perceel heet een brede vruchtwisseling. Dan krijgen de meeste bodemgebonden ziekteverwekkers weinig kans. Een ruime vruchtwisseling is vooral een preventieve maatregel. De weerbaarheid van de bodem vergroot je er niet per se mee.

## Resistente planten

Plantenrassen die niet of minder worden aangetast door pathogenen, heten resistent. Daarnaast heb je tolerante rassen, die wel worden aangetast, maar daar niet of nauwelijks last van hebben. Of zulke resistente of tolerante rassen beschikbaar zijn, hangt af van de ziekteverwekker en het gewas. Juist tegen veel bodemgebonden pathogenen schort het aan resistente of tolerante rassen. En als ze al beschikbaar zijn, dan is het nog oppassen. Soms kunnen pathogenen zich goed vermenigvuldigen op tolerante rassen, waarna ze alsnog een probleem kunnen vormen voor andere gewassen. Soms is het ook een kwestie van kiezen. Veel rassen die vatbaar zijn voor bodemziekten worden nog steeds geteeld omdat ze nou net de juiste smaak, kleur of andere nuttige eigenschappen hebben. Bovendien kunnen resistente rassen duurder zijn en daardoor niet altijd economisch rendabel. Net als vruchtwisseling is de teelt van resistente of tolerante rassen een preventieve maatregel.



### Groenbemester houdt bodem gezond

Groenbemesters zijn gewassen die na de oogst van een hoofdgewas worden gezaaid. Op zandgronden is dit wettelijk verplicht om uitspoeling van stikstof tegen te gaan. Groenbemesters hebben allerlei gunstige effecten op de bodem en op het hoofdgewas, dat daardoor beter bestand kan zijn tegen ziektes.

Er zijn ook groenbemesters die actief bodempathogenen kunnen bestrijden. Zo kan een boer in de zomer afrikaantjes telen om het wortellesiaaltje te bestrijden. Een aaltje dat de wortels van een afrikaantje aanprijkt, sterft door blootstelling aan de giftige stoffen in de afrikaantjes waarvoor dit aaltje gevoelig is. Zo'n teelt is wel duur. Het komt immers in plaats van een gewas dat direct geld oplevert.

Andere groenbemesters uit de familie van de kolen kunnen, nadat ze geteeld zijn, ingewerkt worden in de grond. Tijdens de natuurlijke afbraak vormen de plantenresten chemische stoffen die dodelijk zijn voor met name aaltjes.

Het is wel oppassen geblazen: er zijn ook groenbemesters die zélf waardplant zijn van bepaalde ziekteverwekkers. Wanneer een boer zo'n groenbemester zou inzetten, in de veronderstelling dat hij de bodem verbetert en de gezondheid bevordert, komt hij uiteindelijk van de regen in de drup.

### Organische stof

Grond bestaat uit minerale delen (zand, leem, klei), water, lucht en organische stof. Organische stof heeft allerlei gunstige effecten op de weerbaarheid van de bodem. Het houdt water vast, geeft ruimte aan plantenwortels en is een bron voor bodemleven.

Dit bodemleven zorgt voor ziekteverring, want het concurreert om voedingsstoffen met pathogenen.

De laatste tijd is er veel aandacht voor minimale grondbewerking. Dit is minder diep of minder vaak ploegen. Door de bodem op die manier meer met rust te laten, komt er minder zuurstof bij de organische stof. Dat vertraagt de afbraak van die organische stof enigszins, wat goed is voor het bodemleven, want voor de meeste soorten is organische stof het hoofdvoedsel. Er zijn ook directe effecten van grondbewerking op het bodemleven. Regenwormen worden beschadigd door grondbewerking, en ook schimmeldraden breken in stukjes op. Tegelijk kan de landbouw niet helemaal zonder grondbewerking. Het helpt om de groei van onkruiden tegen te gaan, en zonder enige vorm van grondbewerking is het lastig om bijvoorbeeld aardappelen en suikerbieten te oogsten (zie ook het interview op pagina 34).

### Ziekteverring en bestrijding van ziekteverwekkers

Het is niet altijd makkelijk om verhoogde ziekteverring te scheiden van een bestrijding van ziekteverwekkers. Ook kunnen effecten niet altijd eenvoudig voorspeld worden: zo zou je denken dat minder selectieve methoden, zoals het stomen van grond om ziekteverwekkers te doden, allerlei negatieve effecten hebben op de algemene weerbaarheid van een bodem. In de praktijk valt dit vaak erg mee. Klaarblijkelijk kan een bodem zich snel herstellen, bijvoorbeeld door herkolonisatie met bodemorganismen uit de ondergrond.

*Dr. Aad Termorshuizen*

**Afrikaantjes scheiden via hun wortels een stof uit waar schadelijke aaltjes aan bezwijken.**



**Eeuwen van roofbouw hebben naar schatting een kwart van het landoppervlak op aarde ernstig aangetast. Met hun systeem van 'Landschaps-herstel', denkt de stichting Commonland een duurzaam alternatief te hebben, zowel voor de bodem als voor de economie.**

# 4

# Een gezonde economie op een gezonde bodem

■ DR. SIMON MOOLENAAR EN DRS. DANIELLE DE NIE

**G**EZONDE LANDSCHAPPEN met een goed functionerend bodem- en watersysteem vormen een belangrijke basis onder ons bestaan. Ze zorgen voor voedsel, water, schone lucht, een stabiel klimaat, biodiversiteit, gezondheid, veiligheid en geluk. Toch hebben we met z'n allen naar schatting nu al een kwart van het landoppervlak op aarde ernstig aangetast door eeuwen van menselijk gebruik. Het internationale consortium Economics of Land Degradation (ELD) schatte vorig jaar dat het bijbehorende wereldwijde verlies van ecosystemendiensten een waarde vertegenwoordigt tussen zes en tien biljoen dollar per jaar!

De kwaliteit van ons landschap hangt één op één samen met belangrijke maatschappelijke uitdagingen op het gebied van voedsel- en waterzekerheid, klimaatverandering, en verlies van biodiversiteit. Uiteindelijk raken deze thema's ook aan vraagstukken rond armoede, migratie en algeheel welbevinden. Het herstellen van landschapskwaliteit is dan ook een van de belangrijkste uitdagingen van onze tijd. Economie en ecologie zijn hecht met elkaar verbonden via het natuurlijk kapitaal in de bodem en het landschap.

## Ecosysteemdiensten

Het landschap zit vol met 'natuurlijk kapitaal'. De bodem, lucht, water en alles wat daarin leeft, leveren ons een breed scala van zogenoemde ecosystemendiensten. De meest voor de hand liggende ecosystemendiensten zijn het voedsel dat we eten, het water dat we drinken en de plantaardige grondstoffen die we gebruiken voor brandstof, bouwmaterialen en medicijnen. Er zijn ook veel minder zichtbare ecosystemendiensten, zoals de regulering en buffering van het klimaat, natuurlijke bescherming tegen overstromingen door bossen, de opslag van miljarden tonnen koolstof in (veen)bodems, of de bestuiving van planten en bomen door bijen en andere insecten. Misschien nóg abstracter zijn de culturele ecosystemendiensten, zoals de inspiratie die we ontleen aan in het wild levende planten en dieren, en de natuurlijke omgeving, en de identiteit die we ontleen aan het landschap waarin we opgroeien of wonen.

Het verlies van natuurlijk kapitaal door menselijk handelen is een goed voorbeeld van een fenomeen dat aan het eind van de jaren zestig van de vorige eeuw werd beschreven als 'de tragedie van de meent'. In een artikel in *Science* uit 1968 beschreef de Amerikaanse bioloog Garrett Hardin het principe van de *tragedy of the commons*, waarbij

één boer op de korte termijn maximale winst voor zichzelf haalt uit de gemeenschappelijke weidegrond van het dorp (de ‘meent’) en daarmee op de lange termijn het hele dorp dupeert. Het is voor iedereen schadelijk wanneer eigenbelang en eigen economisch gewin vóór het algemeen belang gaan. Het is dus niet logisch om waardevolle ecosystemen uit te putten en te vernietigen, om op korte termijn winst te kunnen maken. En toch is dit precies wat er gebeurt bij ons huidige beheer van ecosystemen: natuurlijke rijkdommen worden opgeofferd omwille van kortetermijngewin. Over dit principe werd ook geschreven in ons cahier Klimaatverandering ([www.biomaatschappij.nl/product/klimaatverandering/](http://www.biomaatschappij.nl/product/klimaatverandering/)).

### Landschapsherstel niet zonder mensen

Als je weet dat nu al een kwart van al het landoppervlak op aarde zwaar is aangetast door ons eigen handelen, ligt het voor de hand om ook na te denken over landschapsherstel. Dorre of gedegradeerde bodems zou je liefst weer veranderen in gezonde, vruchtbare, functionerende landschappen, waarin biodiversiteit, productiviteit en lokale gemeenschappen in balans zijn.

Dergelijk landschapsherstel gaat verder dan alleen maar herstel van de bodem en de natuur op die bodem. Een landschap is ook een gemeenschap van mensen die er hun bestaan opbouwen. Hun rol is bepalend voor de invulling en de toekomst van het landschap. Herstel van landschappen is cruciaal om de uitputting van de bodem en ander natuurlijk kapitaal teniet te doen. Maar daarvoor zijn dan wel nieuwe bedrijfs- en verdienmodellen nodig. Om landschapsherstel ook op de lange termijn duurzaam te maken, is het nodig om duurzame verdienmodellen te ontwikkelen en investeerders met ‘geduldig’ kapitaal te betrekken.

### Haalbaar herstel ...

De aarde telt ongeveer 14,5 miljard hectare landoppervlak (naast 36,5 miljard hectare water). Ga je uit van een kwart aangetast landoppervlak, dan is dat dus ruim 3,5 miljard hectare. Naar schatting zou meer dan de helft daarvan, te weten 2 miljard hectare, hersteld kunnen worden. Dat is een oppervlak zo groot als de Verenigde Staten en China samen! Driekwart van dat te herstellen oppervlak lijkt geschikt voor het creëren van veerkrachtige landschappen, die ecologisch herstel combineren met duurzame voedselproductie die is afgestemd op de draagkracht van het systeem.

In 2011 werd in de Duitse stad Bonn een doel gesteld door het Duitse ministerie van Milieu, en de internationale natuurkoepel *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN). In de zogeheten *Bonn Challenge* legden zij vast dat in 2020 een oppervlak van 150 miljoen hectare ontboste grond en ander vernield natuurlijk landschap (een oppervlakte van drie keer Spanje) hersteld zou moeten zijn. In 2014 werd dat doel nog verder aangescherpt. In de *New York Declaration* werd vastgelegd dat naast de 150 miljoen hectare uit de Bonn Challenge, nog eens 200 miljoen hectare voor het jaar 2030 opnieuw bebost zou moeten worden.

### ... maar een trage werkelijkheid

Natuurorganisaties en overheden werken al vele jaren, ieder vanuit eigen invalshoeken, aan het herstel van landschappen. Toch is de effectiviteit daarvan en de schaal en snelheid waarmee dat gebeurt bij lange na niet genoeg om de ambities van de Bonn Challenge te realiseren.

Een deel van de uitdaging zit in de financiering. Ecologische herstelwerkzaamheden worden nu vooral gefinancierd door publiek geld en fondsen met het perspectief van natuurherstel. De private sector is hierbij nauwelijks betrokken. Die private sector, dus bedrijven en investeerders met ‘geduldig kapitaal’, zijn een belangrijke ontbrekende



Vóór 2030 zou 350 miljoen hectare verdwenen bos moeten worden hersteld.

schakel. Wanneer private partijen actief zouden worden in het herstel van landschappen, omdat ze daar – in hun eigen jargon – duurzame *business cases* in zien, dan kan dat het herstelproces versnellen en opschalen. Investeerders en ondernemers moeten daarvoor een langetermijnsamenwerking aangaan met agrarisch ondernemers en andere landgebruikers.

### **Eén taal voor boeren, bedrijven en natuurbeschermers**

Tot dusver zijn bedrijven en investeerders niet heel actief betrokken bij het herstel van landschappen. Dit gebrek aan betrokkenheid is grotendeels te wijten aan de kloof die gaapt tussen het bedrijfsleven en de organisaties die zich bezighouden met initiatieven voor landschapsherstel. Voor

een grotere betrokkenheid van bedrijven en investeerders moeten de barrières tussen lokale gemeenschappen, niet-gouvernementele organisaties (NGO's), boeren, bedrijven, universiteiten, ecologen, economen en beleidsmakers worden weggenomen. Om dit te kunnen bereiken heeft de Stichting Commonland een gemeenschappelijke taal ontwikkeld; een taal die de investeerders kunnen begrijpen maar die ook voor boeren en andere lokale en internationale ondernemers, experts en natuurorganisaties begrijpelijk is.

## Vier keer winst bij herstel van landschappen

**D**E STICHTING Commonland heeft een systeem van landschapsherstel ontwikkeld dat uitgaat van vier verschillende vormen van winst. Dit systeem is inmiddels via het merkenrecht geregistreerd als het '4 returns<sup>®</sup>' model. Landschapsherstel zorgt voor herstel van inspiratie, en herstel van sociaal, natuurlijk en ook financieel kapitaal. Praktische voorbeelden van dit model zijn inmiddels te vinden in Zuid-Afrika en Spanje.

### Zuid-Afrika: geiten de Baviaanskloof uit

In Zuid-Afrika is Commonland actief in het herstel van het landschap rond de kloven van drie rivieren: de Baviaanskloof, de Kouga en de Kromme. Gezamenlijk zijn die drie kloven goed voor 550.000 hectare land en zo'n 70% van de zoetwatervoorziening van de miljoenenstad Port Elizabeth aan de Zuidelijke Kaap.

In de Zuid-Afrikaanse zomer van 2009-2010 werd Port Elizabeth getroffen door één van de zwaarste droogtes uit de geschiedenis en moesten boeren in het aangrenzende gebied het waterver-

bruik voor irrigatie met 40% verminderen. In 2015-2016 was er weer sprake van ernstige droogte.

Het project van Commonland, in nauwe samenwerking met de NGO *Living Lands*, in de stroomgebieden rond Port Elizabeth concentreert zich in eerste instantie op herstel van de Baviaanskloof. Het landschappelijk verval in die kloof is vooral veroorzaakt door de geiten die in het gebied werden gehouden. Overbegrazing droeg bij aan verlies van vegetatie, in het bijzonder van de spekboom plant (*Portulacaria afra*), veroorzaakte bodemerosie en verminderde het vermogen van de bodem om water vast te houden. Dat leidde in het benedenstroomse gebied tot meer extremen, zowel tijdens droogtes als in periodes van wateroverlast.

Commonland bracht boeren, het bedrijfsleven (waaronder een grote frisdrankfabrikant en een verzekeringsmaatschappij) en de lokale overheid om de tafel voor het ontwikkelen van een gemeenschappelijke visie: herstel van het landschap, de bodem en het waterbergend vermogen, een betere inkomenspositie van de boeren en sociale cohesie. De basis was een duurzame *business case*, waarbij het houden van geiten voor een belangrijk deel moest worden ingewisseld voor het telen van aromatische gewassen zoals lavendel, en notenbomen.

De '4 returns<sup>®</sup>' aanpak van Commonland



### Return of Inspiration

Giving people hope and a sense of purpose.



### Return of Social Capital

Bringing back jobs, business activity, education and security.



### Return of Natural Capital

Restoring biodiversity, soil and water quality.



### Return of Financial Capital

Realizing long-term sustainable profit.

---

## Herstel van landschap levert ecologisch, financieel, sociaal en cultureel rendement op

### Meer geld van minder land

In een gemeenschappelijke zoektocht naar duurzame modellen, kwam Commonland uit op een landgebruik waarbij meer inkomen werd gehaald van minder landoppervlak. Dit betekent dat er nu land kan worden vrijgespeeld voor herstel van de natuurlijke vegetatie. Daarbij worden invasieve soorten verwijderd en inheemse soorten zoals de spekboom aangeplant. Die kunnen snel bijdragen aan het creëren van een vegetatiedek. Daardoor blijft de bodem beschermd tegen erosie en wordt regenwater beter vastgehouden. Tegelijk wordt het land beschermd tegen de directe zonnestralen, waardoor de temperatuur nu minder snel oploopt. Dit is een enorme verandering voor de landeigenaren, de boeren en hun families. In hun eigen woorden:

*“If this works, I won’t be a goat farmer anymore, I will be a lavender and nut farmer. That makes so much more sense.” – Rene, South African farmer*

### Spanje: ecologische amandelteelt

In Spanje is Commonland actief in het herstel van de Altiplano, een hoogvlakte grofweg tussen de steden Granada en Murcia in de zuidelijke regio Andalusië. Het is een gebied dat wordt gedomineerd door amandel-, olijven- en graanteelt, maar dat ook wordt bedreigd door verregaande verwoestijning als gevolg van eeuwenlange ontbossing en overbegrazing.

Het herstel is begonnen bij het verduurzamen van de bestaande amandelteelt. Jarenlange bodembewerking in de boomgaarden heeft geleid tot veel bodemdegradatie. Boeren, landeigenaren en ondernemers in de Altiplano hebben de vereniging Alvelal opgezet ([www.alvelal.es](http://www.alvelal.es)). De vereniging telt nu zo'n 250 leden die samen aan het herstel van het gebied willen werken. De eerste activiteiten spitzen zich vooral toe op herstel van de bodemvruchtbaarheid door regeneratieve landbouw, toepassing van compost en bodembedekkers. Daarnaast

werken de leden aan integratie van de teelt van aromatische planten en het houden van schapen. Die activiteiten worden verder gecombineerd met het aanleggen van zogenoemde ecologische corridors, waar bijen en andere bestuivers een plek vinden. In die corridors is dus ook bijenhouderij als bron van inkomsten mogelijk.

De economische haalbaarheid van deze duurzame *business cases* wordt nu onderzocht. Ook wordt er gekeken of het mogelijk is om (een deel van) de amandeloogst in het gebied zelf en onder eigen beheer te verwerken tot waardevolle eindproducten om zo meer economische waarde te halen uit de amandelteelt.

### Duurzame ontwikkelingsdoelen

De voorbeelden uit Zuid-Afrika en Spanje laten nu al zien dat landschapsherstel niet alleen een zaak hoeft te zijn van natuurbeschermers. Met deze en andere projecten wil Commonland vooral laten zien dat landschapsherstel op basis van duurzame *business cases* op grote schaal mogelijk is en dat investeren in het herstel van aangetaste landschappen dus zinvol en haalbaar is. Het levert niet alleen ecologisch, maar ook financieel en sociaal rendement op waarbij terugkeer van inspiratie en hoop voor de betrokkenen vaak nog de grootste drijfveer is om binnen deze projecten aan de slag te gaan.

In het najaar van 2015 stelden de Verenigde Naties de zogeheten Duurzame Ontwikkelingsdoelen vast: een lijst met doelen voor een duurzame wereld in 2030. Eén van die *Sustainable Development Goals* is het stoppen van de wereldwijde land- en bodemdegradatie. (SDG 15: *to “sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse land degradation, and halt biodiversity loss”*. Target 15.3 *By 2030, combat desertification, restore degraded land and soil, including land affected by desertification, drought and floods, and strive to achieve a land degradation-neutral world.*).

Herstel van landschappen is de verbinding tus-



Het concept van de 'almendrehesa': het agrarische ecosysteem dat rond de teelt van amandelen is gecreëerd in plaats van intensieve monoculturen. Dit systeem bevordert de bodemvruchtbaarheid, vermindert de bodemerosie en verhoogt het watervasthoudend vermogen van de bodem terwijl tegelijk een aantal productieve en duurzame business cases mogelijk wordt gemaakt die onderling samenhangen.



Met hun 'gouden amandelen' (Pepitas de Oro®) proberen de boeren van de vereniging Alvelal een hoge kwaliteit amandelen te produceren en tegelijk de bodem en de biodiversiteit te herstellen.



De fokkers van het lokale schapenras Segureño werken samen met de coöperatie Alvelal. Ze combineren een ecosysteembenadering met de productie van eersteklas biologisch vlees.

sen bodem-, biodiversiteits- en landherstel. Ook andere duurzame ontwikkelingsdoelen kunnen via herstel van een (gedegradeerd) landschap lopen. Commonland wil hieraan meewerken via het stimuleren van een 'landschapsherstel-industrie'. Uiteindelijk is het de bedoeling dat de geleerde lessen en de methodes die daarbij worden ontwikkeld, ook worden gebruikt om nog meer mensen te inspireren, zodat landschapsherstel steeds meer kan worden opgeschaald. Bewoners, overheden en bedrijven in het betreffende landschap moeten daarbij worden betrokken. Een landschap is immers ook een gemeenschap en wat is er mooier dan zelf bijdragen aan een netto positieve impact?



Ook van compost kun je handel maken. Enkele ondernemers uit de coöperatie Alvelal hebben 'composteras' opgericht, waarmee ze compost, advies en andere diensten leveren aan collega-boeren. Deze compost is van groot belang voor verbetering van bodemkwaliteit, bodemvruchtbaarheid en vermindering van bodemdegradatie.

## Vier keer opbrengst in drie zones

Om ecologische, economische en sociaal-culturele opbrengsten en bovendien inspiratie te genereren uit landschapsherstel, werkt Commonland met drie zones in het landschap:

### Natuurlijke zone

Dit heeft ten doel om de 'ecologische motor', de biodiversiteit van het gebied te herstellen. De inheemse vegetatie, bodem en waterhuishouding worden hersteld, zodat de soortenrijkdom, bodemvruchtbaarheid en opslag van koolstof in de bodem toeneemt. Deze zone genereert naarmate de jaren verstrijken een scala aan ecosystemendiensten, zoals bosproducten, wild, natuurlijke plaagbestrijders, water en toerisme.

### Gemengde zone

Hier wordt de bodemvruchtbaarheid hersteld door regeneratieve landbouw, die de bodem gezonder maakt in plaats van verder degradeert. Met

herstel van de bodem verbetert ook de waterkwaliteit en het watervasthoudend vermogen, wat in zijn geheel ten goede komt aan herstel van biodiversiteit.

### Economische zone

Dit is het kerngebied waar de hoogste economische productiviteit kan worden gerealiseerd. Bijvoorbeeld met intensieve duurzame landbouw en veeteelt, plantages, vastgoed, industrie en infrastructuur. De productiviteit van deze zone is, op de lange termijn, afhankelijk van de andere zones. De activiteiten in deze zone hebben veelal een effect op de andere zones.



# De bodem onder stadslandbouw

**A**L IS de stad niet de eerste plek waar je aan denkt als het gaat om vruchtbare grond, toch wordt er wel degelijk voedsel verbouwd in de stad. 'Stadslandbouw' – het verbouwen van voedsel in of rondom de stad – mag je zelfs ronduit 'hip' noemen. Het is een breed begrip, dat zowel buurttuinen van enkele tientallen vierkante meters omvat, als boerderijen dicht bij de stad, die zich richten op stedelijke consumenten en recreanten.

Waar het belang van een vruchtbare bodem voor boerderijen rondom de stad evident is, roept stadslandbouw in haar meer stedelijke – en daardoor vaak kleinschalige en hobbymatige – vorm misschien niet direct associaties met grondgebondenheid op. Toch is een vruchtbare bodem ook hier belangrijk. De volkstuintier heeft graag een goede oogst, en ook vrijwilligers in een buurttuin zijn blij wanneer ze resultaat van hun inspanningen zien.

In kleinschalige, binnenstedelijke projecten houden de beheerders de bodem meestal vruchtbaar met biologische of 'natuurlijke' productiemethoden, dus zonder gebruik van kunstmest en chemische bestrijdingsmiddelen. Hoewel dat vooral in de meer traditionele volkstuintuinen niet altijd vanzelfsprekend is, wordt het wel steeds gebruikelijker. In buurttuinen zijn die natuurlijke methoden bijna de standaard. Dat heeft grotendeels te maken met hun ligging. Midden in de stad, waar kinderen spelen en mensen direct toegang hebben tot het land, is men huiverig voor het gebruik van niet-natuurlijke productiemethoden die geassocieerd worden met gifstoffen.

## Vieze bodem geen groot probleem

Veel stadslandbouwprojecten hebben met vervuilde gronden te maken, bijvoorbeeld omdat ze gelegen zijn op terreinen die vroeger als industriegebied dienst deden. Toch blijkt de vruchtbaarheid van de grond voor veel projecten niet een al te groot probleem. Uit onderzoek bij 29 stadslandbouwprojecten, voornamelijk in Nederland, bleek dat veel deelnemers van hobbymatige stadslandbouwprojecten een slechte bodemvruchtbaarheid of een vervuilde bodem niet als een onoverkomelijk probleem ervaren. De initiatiefnemers laten de bodem bijvoorbeeld saneren (soms gefinancierd door de gemeente), leggen teeltbedden van schone aarde op de vervuilde bodem aan, of plaatsen bakken om in te telen.

Sociale problemen, zoals een gebrek aan draagvlak in de buurt, wegen voor de meeste projecten veel zwaarder dan eventuele bodemproblemen, omdat daar vaak geen pasklare en makkelijk uitvoerbare oplossingen voor zijn. Ook een eventuele tijdelijke beschikbaarheid van grond kan problematisch zijn, omdat voor veel projecten wel eerst geïnvesteerd moet worden. Overigens is een echt onvruchtbare bodem voor de meer commerciële projecten natuurlijk wel een probleem, omdat de gevolgen daarvan direct in het bedrijfsresultaat terug te zien zijn.

## Grond op het dak

Een bijzondere vorm van stadslandbouw is de daktuin: het verbouwen van voedsel boven op gebouwen. Platte daken worden wel gezien als 'het vergeten deel van de stad'. In de strijd om ruimte



Op het dak van een Rotterdams kantoren-complex worden groenten en bloemen geteeld op 'De Dakakker'.

in de urbane drukte is het logisch om deze plekken – mits geschikt – ook voor landbouw te gebruiken. Van verbouwen in de volle grond is op daken per definitie geen sprake. Er kan hooguit een bescheiden laag grond op het dak worden aangebracht. Een bijkomend voordeel voor het gebouw is dat het in de zomer koeler blijft en dat het dak langer meegaat, zolang het natuurlijk niet wordt overbelast. Voordeel voor de stad is bovendien dat een daktuin regenwater opneemt, dat daardoor niet in het overbelaste riool terecht komt.

Brooklyn Grange in New York is één van de bekendste daktuinen ter wereld. De tuin is 4.000 vierkante meter groot en biedt een schitterend uitzicht over de stad, waardoor het niet alleen een plek is om groente te verbouwen, maar ook geschikt is voor feesten en andere bijeenkomsten. De hoogte is behalve een pluspunt voor het uitzicht ook een probleem: de wind is hier sterker dan op de grond. En omdat niet in de volle grond wordt geteeld, is het moeilijk de bodem in de beperkte laag vruchtbaar te houden.

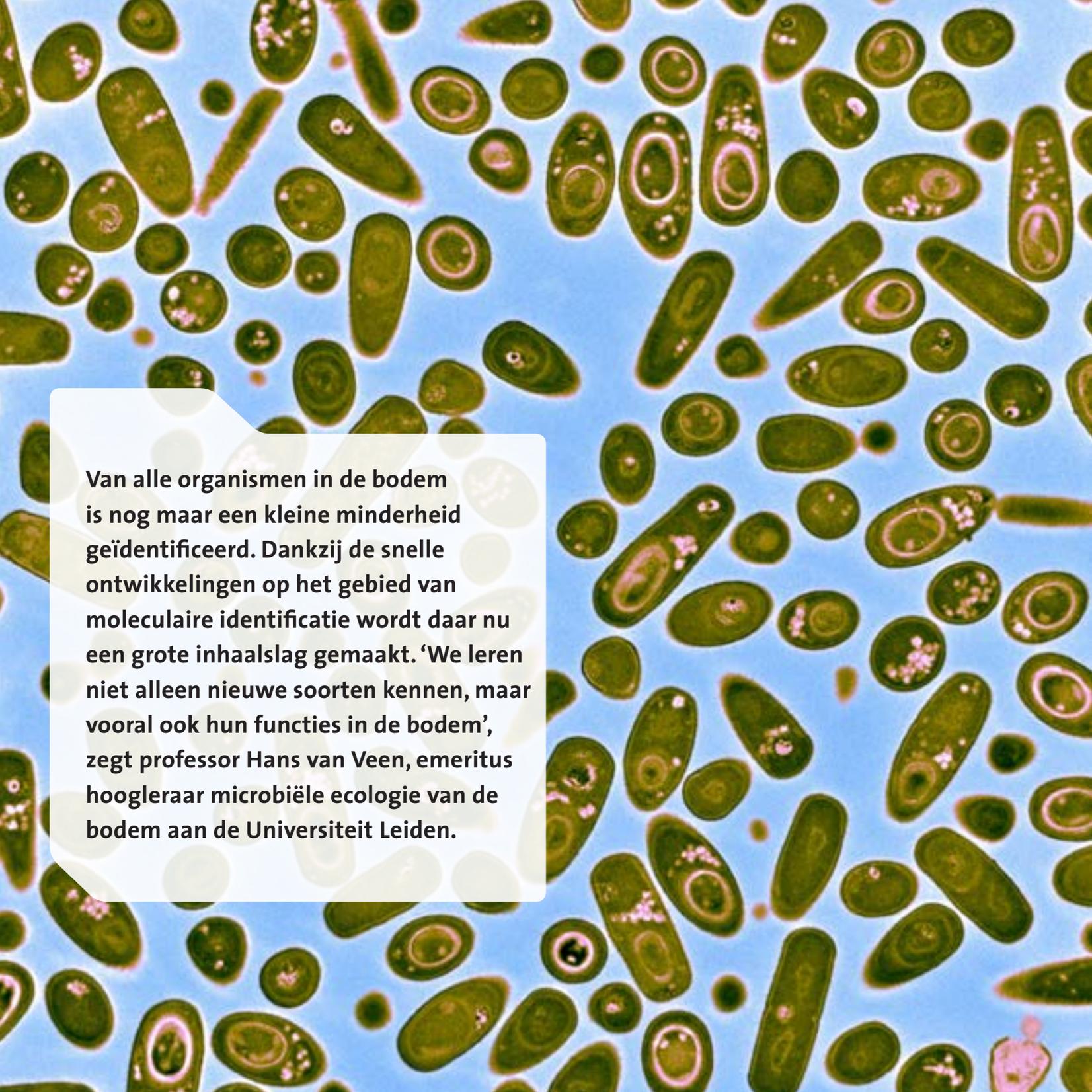
Goede grond is dus wel degelijk belangrijk voor een daktuin, al was het maar omdat de symbolische waarde groot is. Het verbouwen van voedsel is voor veel mensen immers nog steeds verbonden met het wroeten in de aarde en vuil onder de vingernagels.

### Bodemloze stadslandbouw

Niet alle stadslandbouw is afhankelijk van grond. Niet-grondgebondenheid maakt het zelfs mogelijk in gebouwen te telen, eventueel op meerdere verdiepingen. Dergelijk 'vertical farming' kan een oplossing zijn voor het gebrek aan ruimte en goede gronden. Elders in dit cahier (zie pagina 80) wordt ook gesproken over telen zonder grond. Aquaponics, dat wil zeggen: het kweken van vissen gecombineerd met het verbouwen van planten, is daarvan een goed voorbeeld dat ook in de stad kan plaatsvinden. En hoewel het in de praktijk nog weinig voorkomt, kunnen planten ook onder LED-licht worden verbouwd, eventueel op water, in een systeem waarbij voedingsstoffen zo efficiënt mogelijk worden toegediend.

Ook het gebruik van reststromen uit stedelijk afval leent zich goed voor de stad. Zo gebruikt het project 'Rotterzwam' koffiedik van de lokale horeca voor het verbouwen van dertig tot vijftig kilo oesterzwammen per week, die weer aan lokale horecaondernemers worden geleverd. Een goede bodem in de traditionele zin van het woord kan in de stad dus ook prima worden vervangen door iets anders.

Dr. Esther Veen

A dense field of microscopic soil organisms, likely nematodes, viewed under a light microscope. The organisms are mostly greenish-brown, elongated, and some show internal structures like nuclei and gut. They are scattered across a light blue background.

**Van alle organismen in de bodem is nog maar een kleine minderheid geïdentificeerd. Dankzij de snelle ontwikkelingen op het gebied van moleculaire identificatie wordt daar nu een grote inhaalslag gemaakt. ‘We leren niet alleen nieuwe soorten kennen, maar vooral ook hun functies in de bodem’, zegt professor Hans van Veen, emeritus hoogleraar microbiële ecologie van de bodem aan de Universiteit Leiden.**

# De vingerafdruk van de bodem

■ IR. ROB BUITER

**I**N HET jaar 2003 bereikten Amerikaanse onderzoekers een grote doorbraak in het genetisch onderzoek van de bodem. Uit een hapje bodem filterden ze al het beschikbare DNA. Vervolgens knipten ze dat in duizenden kleine stukjes, die ze daarna door een zogenoemde sequencer haalden. Zo'n sequencer bepaalt per stukje DNA de volgorde van de A's, C's, T's en G's van het genetisch alfabet. Door in al die stukjes de overlappende tekst te zoeken, kon in de computer de puzzel weer op de juiste volgorde in elkaar worden gezet. En zie daar: van letterlijk álle organismen in de betreffende bodem was ineens het complete genoom bekend!

'Er zit natuurlijk wel een belangrijke kanttekening bij deze geschiedenis', benadrukt emeritus hoogleraar microbiële ecologie van de bodem professor Hans van Veen met een minzame glimlach. 'Het ging om een bodemmonster uit een extreem zure mijn. Bij de lage pH in die mijn kunnen maar heel weinig organismen overleven. In het betreffende monster werden dan ook maar vijf verschillende bacteriën gevonden. Als ik hier bij mijn werkkamer, uit de tuin van het Nederlands Instituut voor Ecologie in Wageningen, een hapje grond haal, dan zitten daar met gemak enkele tienduizenden verschillende organismen in. Het is

ijdele hoop om daar op korte termijn net zo'n complete DNA-analyse per soort van te maken. Maar eerlijk is eerlijk, in die zure mijn in de VS is wel het principe bewezen: je kan de soorten in een bodem herkennen door alleen naar het DNA te kijken.'

## **Terra incognita**

Om een serieus 'terra incognita' te vinden hoef je volgens Van Veen echt geen ontdekkingsreiziger meer te worden. Een hap uit de eerste de beste gewone bodem volstaat. 'Het grote probleem is natuurlijk dat we de bacteriën, schimmels en andere microben in de bodem niet kunnen zien. Kweken in het laboratorium, op een voedingsmedium in een petrischaaltje zou helpen, maar de meeste microben kunnen we ook nog niet kweken om ze herkenbaar te maken. Van alle micro-organismen kunnen we naar schatting hooguit een procent of vijf in het lab kweken. Die andere 95% kennen we nauwelijks, laat staan dat we weten wat hun functie in het ecosysteem van de bodem is.'

De eerste grote stappen voorwaarts in de genetische ontdekkingsreis door de bodem werden gemaakt in de jaren negentig van de vorige eeuw. DNA dat uit de bodem werd geïsoleerd, werd in min of meer willekeurige stukjes geknipt en vervolgens door een stroperige gel gescheiden. Het

Alle (vijf) bacteriesoorten in dit extreem zure mijnwater zijn door DNA-analyse geïdentificeerd.



---

In de bodem  
zitten nog  
steeds heel  
veel 'UMO's':  
*unidentified  
microbial  
organisms*

resultaat was het bekende streepjespatroon, waarmee een 'genetische vingerafdruk' jarenlang werd verbeeld. Van Veen: 'Met dat streepjespatroon kon je natuurlijk niet alle individuele soorten herkennen. Want hoeveel verschillende bandjes zie je nou helemaal op zo'n gelplaatje; een stuk of zestig? Tegelijk gaven die eerste DNA-analyses al wel een eerste indruk van de diversiteit van het leven in de bodem.'

Rond de eeuwwisseling volgden de eerste echte analyses van het genoom van een bodemmonster. 'Het was in die tijd nog peperduur en tijdrovend om de sequentie van een stukje DNA te bepalen. Inmiddels is dat relatief goedkoop en zijn de sequencers ook razendsnel geworden. Maar nog steeds is de diversiteit van de organismen in een bodem zó groot dat we die niet "even" in een sequencer kunnen identificeren', benadrukt Van

Veen. 'Het beste dat we uit een bodem kunnen halen is een heel grof overzicht van de organismen die erin zitten. Zo'n overzicht is op zijn best net zo goed als de databases die we in de loop van de jaren als internationale onderzoeksgemeenschap hebben opgebouwd. En daar zitten nog steeds heel veel 'UMO's is: "*unidentified microbial organisms*" in.'

#### **De rol van microben in de bodem**

Interessanter nog dan de vraag wat er allemaal in de bodem zit aan bacteriën, vindt Van Veen de vraag wat al die microben daar doen. 'Ontegengesteld zijn ze succesvol, anders zouden er niet zo veel verschillende micro-organismen in zulke grote aantallen in de bodem zitten. Je moet immers bedenken dat er in een gram grond evenveel bacteriën zitten als er mensen op aarde zijn! Maar wat doen ze daar? En hoe doen ze wat ze doen? Ook

op die vragen begint de genetica steeds vaker een antwoord te geven.'

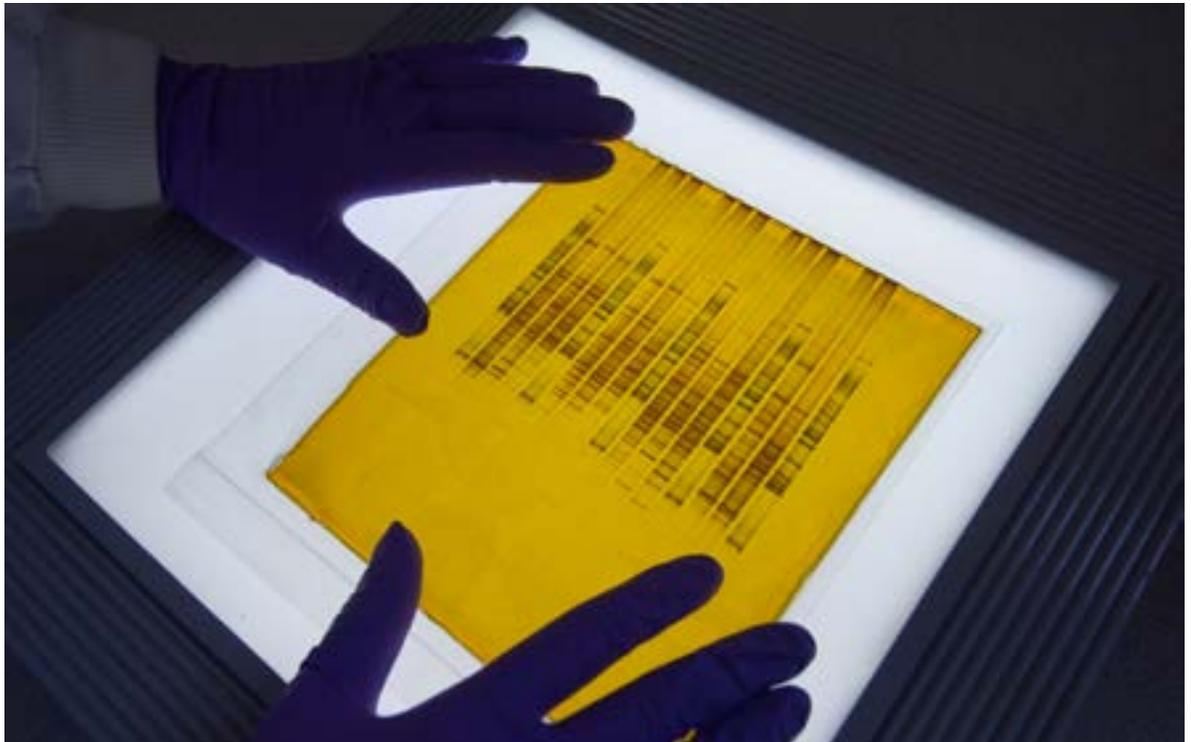
Eén van de eersten die op die manier naar de genetische diversiteit van een ecosysteem keek, was de Amerikaanse moleculair bioloog Craig Venter. Met zijn zeilschip *Scorcerer II* ('de tovenaars') voer hij tussen 2003 en 2008 hetzelfde rondje om de wereld dat Darwin anderhalve eeuw daarvoor had gevaren. Niet bepaald een snelheidsrecord, maar hij had dan ook wat te doen onderweg. Uit duizenden watermonsters filterde hij het DNA om dat vervolgens te sequencen. Hij keek daarbij niet alleen naar de verschillende soorten bacteriën die in het water zitten, maar ook naar de individuele genen en hun functies in die bacteriën. Van Veen: 'Nu het bepalen van de DNA-sequenties relatief zo goedkoop is geworden, zijn bodemecologen op eenzelfde manier naar bodemmonsters aan het

kijken: welke DNA-codes voor welke enzymen zitten er in een bodemmonster, en wat zegt dat over de processen die zich daar afspelen.'

### Essentiële bacteriën voor plantengroei

Met behulp van een experiment in het laboratorium heeft een promovendus van Van Veen, Yan Yan, ook geprobeerd te achterhalen welke processen in de bodem essentieel zijn voor de groei van planten. 'Zij begon met een gewoon bodemmonster', vertelt Van Veen, 'dat zij in oplossing bracht, en vervolgens wel tot een factor miljard ging verdunnen. Bij dat proces verlies je ongetwijfeld een hoop van de diversiteit die er van nature in zo'n bodemmonster zit. Verschillende van die verdunningen bracht ze vervolgens in gesteriliseerde grond in het laboratorium. Die grond werd dus weer vanaf nul bevolkt door de bacteriën die

De vingerafdruk van een bodem kan verraden welke organismen erin zitten.



## Netwerken in de bodem

Behalve naar enzymen, kijken bodemecologen ook graag naar de relaties tussen verschillende bodemorganismen. 'Als je van heel veel verschillende bodemmonsters de aanwezige soorten bepaalt, en je houdt ook bij welke soorten telkens tegelijk voorkomen, dan kun je daar een prachtig spinnenweb van tekenen. Steeds als twee soorten bij elkaar voorkomen, trek je tussen die soorten een lijntje. Hoe vaker een soort door een lijntje met een ander is verbonden, hoe meer connecties zo'n soort heeft in het bodemecosysteem en dus hoe belangrijker die soort is voor de gemeenschap van bacteriën in de bodem. Dus zo'n web van lijntjes leert je op den duur welke de sleutelsoorten in de bodem zijn. Welke soorten zijn cruciaal voor het voorkomen van anderen? Als je die soorten leert kennen, kun je vervolgens gaan onderzoeken wat hun rol in het ecosysteem kan zijn. Hoe reageren ze bijvoorbeeld op onze ingrepen in de bodem? En zijn er misschien maatregelen te bedenken waarmee we juist die sleutelsoorten kunnen stimuleren of onderdrukken.'



in de verschillende verdunningen waren achtergebleven. Keek ze vervolgens op welke van die herbevolkte bodems planten wilden groeien, dan vond ze een opvallend verschil. Uit de DNA-analyse van de bodems, bleek een heel duidelijk statistisch verband tussen goede plantengroei en de aanwezigheid van één specifieke groep van bacteriën: de *Arthrobacters*.'

Meer nog dan een statistisch verband met het geslacht *Arthrobacter*, vond Yan Yan een verband met de aanwezigheid van de genetische code voor bepaalde enzymen. Van Veen: 'Planten blijken vooral te gedijen bij de aanwezigheid van enzymen die zorgen voor het transport van stoffen door membranen van cellen. Waarschijnlijk maakt het die planten helemaal niet eens zo veel uit in welke bacterie of welke schimmel die enzymen zitten, als de gezochte functie maar aanwezig is.'

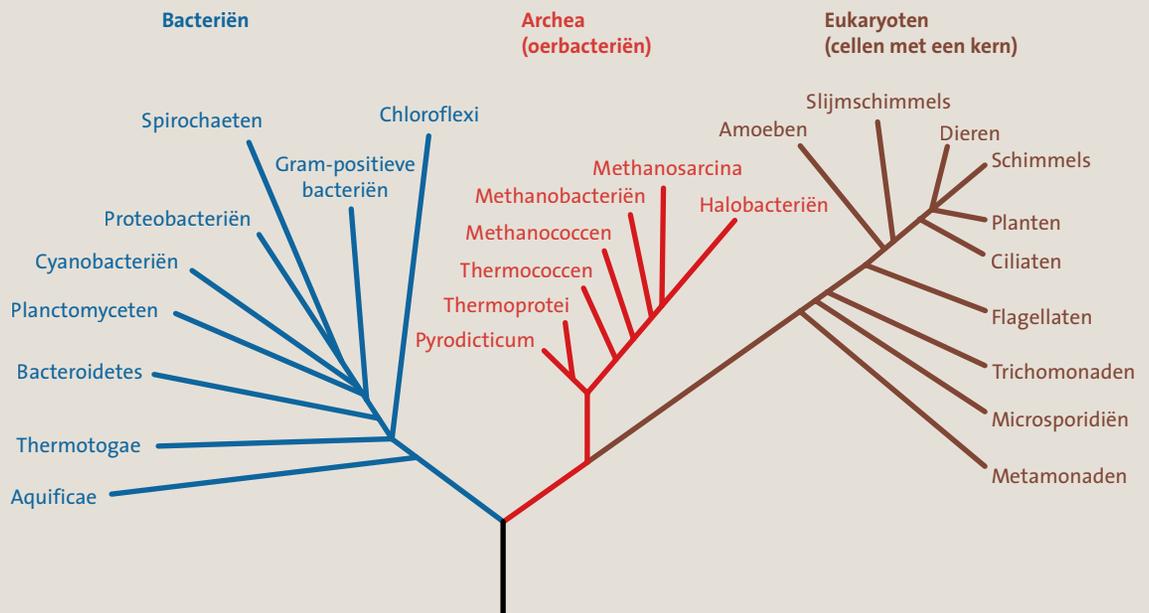
**Met zijn zeilschip *Sorcerer* // heeft moleculair bioloog Craig Venter de wereldzeeën bemonsterd.**

## De taxonomie van bacteriën

Al het leven op aarde is verdeeld in drie domeinen: eukaryoten (die een cel hebben met een kern), bacteriën en archaea, of 'oerbacteriën'. Binnen de immens grote groep bacteriën zijn in eerste instantie 30 verschillende 'stammen' of 'fyla' geïdentificeerd, vergelijkbaar met de onderverdeling van het dierenrijk in de stammen van de 'gewervelden', of de 'geleedpotigen'. Van die 30 bacteriële fyla zijn één of meer soorten bekend en ook geïsoleerd. Er zijn vervolgens al minstens 35 nieuwe fyla ontdekt met behulp van DNA-analyses. Van die stammen is (nog) geen soort ooit geïsoleerd of gezien. De voorspelling is dat er misschien wel honderd of meer fyla van bacteriën bestaan. Dus naar de exacte diversiteit van het rijk van de bacteriën, laat staan van de waarschijnlijk duizenden en nog eens duizenden geslachten en soorten binnen die fyla, blijft het tot op de dag van vandaag gissen.

De verschillende fyla van bacteriën zijn niet op basis van hun uiterlijk te onderscheiden, zoals bij hogere organismen vaak wel kan. Er zijn maar enkele basale vormen bekend, waarvan de meest voorkomende de bolvorm (coccen), staafvorm (bacillen) en spiraalvorm zijn, naast een paar zeer ongebruikelijke vormen zoals een rechthoek.

Als je de herkenning van bacteriën zou moeten vertalen naar, zeg, de herkenning van dieren, dan kunnen microbiologen nog steeds hoog scoren in de wetenschappelijke pers met de constatering 'dat er nu organismen zijn gevonden die in de lucht kunnen vliegen, maar wat dat zijn en wat ze doen, daar hebben we geen idee van'. Met de herkenning van de verschillende (groepen van) van die 'microbiële vogels' zijn de microbiologen voorlopig nog wel even zoet.



## Het microbioom van een gezonde bodem

**N**AAST ZIJN fundamentele interesse in de aard en de kwaliteiten van de organismen in de bodem, ziet ecooloog Van Veen ook praktische toepassingen van dit onderzoek. ‘Het geheel van micro-organismen en hun functies in een bepaald ecosysteem noem je het microbioom. Uiteindelijk hoop je natuurlijk de aard van dat microbioom te kunnen koppelen aan de kwaliteit van een bodem. Je zou een bodemonster willen nemen, door de sequencer halen, en vervolgens kunnen zeggen: dit is een heel geschikte bodem voor dit of dat gewas, of voor deze of gene wilde plant. Maar zo ver zijn we nog lang niet.’

Van Veen en zijn collega’s kunnen de vraag al wel op bescheiden schaal omdraaien. ‘We kunnen onderzoeken wat er gebeurt met het microbioom als we, zeg, de mestgift verhogen, of een bepaalde plant toevoegen of verwijderen. Welke organismen of welke enzymen zien we dan in het systeem komen of eruit verdwijnen.’

Langs die weg van ‘manipuleren en analyseren’, denkt Van Veen dat op termijn heel veel zin van onzin gescheiden zal kunnen worden op het gebied van bodemmanagement. ‘We doen nu van alles in die bodem, vaak alleen gericht op directe effecten op de groei van gewassen, zoals bemesten of ploegen. Maar we zien dan over het hoofd wat dat voor gevolgen heeft voor het microbioom en dus op langere termijn voor de vruchtbaarheid. We beïnvloeden de kwaliteit van de bodem zonder te weten hoe we dat doen. Er zijn wel maatregelen bekend die direct gericht zijn op het beïnvloeden van het microbioom, zoals het toevoegen van de stof chitine. We denken dat we daarmee bacteriën stimuleren die ook schadelijke schimmels met chitine in hun celwand afbreken. Maar werkt dat ook echt zo?’

Een andere ingreep waar Van Veen zijn twijfels bij heeft is de inundatie, die sommige akkerbouwers toepassen om hun grond te ontdoen van aaltjes. ‘Door de grond een tijdje onder een laag water te zetten, gaan bijvoorbeeld bollenboeren ervan uit dat zij aaltjes kwijtraken. Tegelijk zijn er weer andere organismen, zoals oömyceten, die juist garen spinnen bij zo’n laag water. Phytophthora is een beruchte oömyceet uit de aardappelteelt. In de bloembollenteelt bestaat een enigszins vergelijkbare ziekte, pythium. Ik ben heel benieuwd naar de genetische analyses van grond die wel of niet is geïnundeerd. Ben je misschien ongewild wel aaltjes aan het bestrijden en ondertussen pythium aan het stimuleren door de inundatie? Als het om bodemmanagement gaat, zijn we vooral nog aan het werken in een black box. Door alle denkbare maatregelen te analyseren naar hun effect op het microbioom, kunnen we onze ingrepen op de bodem misschien wat meer rationaliseren.’

### De geheime gereedschappen van het microbioom

Van Veen denkt dat er ook nog heel veel nuttige trucs te leren zijn door het microbioom in verschillende bodems te bestuderen. ‘Om nog maar te zwijgen van de interessante producten die je eruit kunt winnen. Neem alleen al de binding van stikstof door vlinderbloemigen. Die planten hebben een speciale gemeenschap van bacteriën in hun wortelknolletjes, waardoor ze stikstof uit de lucht kunnen binden. De lucht zit barstensvol met stikstof, maar wij hebben met al onze technologie toch een behoorlijke hoop energie nodig om die stikstof vast te leggen in bijvoorbeeld kunstmest. De vlinderbloemigen met hun bijbehorende bacteriën doen dat een heel stuk slimmer. We weten inmiddels vrij goed hoe ze dat doen, maar hoe we dat kunnen toepassen bij de echte grote gewassen zoals rijst en granen is zelfs na tientallen jaren van onderzoek door honderden wetenschappers nog niet duidelijk. Het zou natuurlijk geweldig



**Door landbouwgrond onder water te zetten hopen boeren aaltjes te bestrijden, maar stimuleren ze wellicht andere ziekteverwekkers.**

zijn wanneer we de enzymen die voor dat proces worden gebruikt, ook zouden kunnen gebruiken om meststoffen te maken.

Behalve stikstofbinders zitten er in bepaalde bodems ook nuttige bacteriën die verontreiniging kunnen opruimen. 'Ook die bacteriën wil je leren kennen. Dat kan door bodemmonsters mét en zonder zuiverend vermogen door de DNA-sequencer te halen, en zo de enzymen te identificeren die voor de zuivering verantwoordelijk zijn', aldus Van Veen.

Vergelijkbare heilige gralen schuilen in de bestrijding van ziekteverwekkers. 'Nu bestrijden we ziekten nog voor een belangrijk deel met synthetische middelen, maar daar willen we op termijn natuurlijk het liefst vanaf. Als je maar voldoende gaat sequencen, kun je uiteindelijk misschien ontdekken hoe een gezonde bodem zélf afrekent met een deel van die, al dan niet bodemgebonden ziekteverwekkers.'

Het microbioom van de bodem en andere ecosystemen is ook de producent van heel veel stoffen en producten die wij dagelijks gebruiken. Zo komt de helft van onze antibiotica uit de bodem (zie ook hoofdstuk 6, op pagina 74). Van Veen: 'Die antibiotica, maar bijvoorbeeld ook de antioxidantia die wij in de voedingsmiddelenindustrie gebruiken, worden door bacteriën gebruikt als verdedigingsmiddel tegen bijvoorbeeld protozoën die bacteriën eten. Het kunnen ook communicatiemiddelen zijn tussen bacteriën. Het zijn dus voor alle bacteriën heel normale stoffen, of metabolieten. Als je dan bedenkt dat we minder dan 5% van alle bacteriën in de bodem kennen en weten wat ze doen, dan mag je verwachten dat er nog enorm veel onbekende stoffen zijn die door bacteriën worden gemaakt en die wij bijvoorbeeld als geneesmiddel of verdelgingsmiddel zouden kunnen gebruiken. Omdat we nu ook de genen, dus de functies van alle bacteriën in de bodem kunnen bepalen via de moderne moleculair biologische technieken, zijn er nu vele studies overal in de wereld naar deze nieuwe antibiotica en andere stoffen. Er zijn al wel enkele bruikbare nieuwe stoffen ontdekt, en naar aller verwachting zullen er nog vele volgen, maar voordat die op de markt komen, zijn we wel jaren verder.'

Van Veen realiseert zich dat we als maatschappij niet al te veel moeten rekenen op 'de industrie', als het gaat om de financiering van deze queeste. 'Voor de DSM's en de Bayers van deze wereld draait het natuurlijk om volumes en productzekerheid. Twee jaar na mijn emeritaat aan de Universiteit van Leiden en aan het Nederlands Instituut voor Ecologie kan ik dan ook alleen maar een warm pleidooi houden voor het voortzetten van het academisch onderzoek aan het microbioom van de bodem. Ik ben ervan overtuigd dat in dat microbioom uiteindelijk ook het antwoord schuilt op onze vraag naar duurzaam bodemgebruik en naar nieuwe producten.'

Bodemonderzoeker dr. Martijn Bezemer, Nederlands Instituut voor Ecologie

# ‘Bodemtransplantatie geeft nieuwe

‘**D**E MOSSEL’ is een voormalig landbouwbedrijf in het gebied Planken Wambuis, op de Veluwe. Tot 1996 werd er onder andere maïs verbouwd. Sindsdien is het in eigendom gekomen van terreinbeheerder Natuurmonumenten. Maar echt spannende natuur is het sindsdien nog niet geworden, vindt bodemecoloog Martijn Bezemer, van het Nederlands Instituut voor Ecologie, het NIOO in Wageningen. ‘Een van de problemen is de hoeveelheid fosfaat’, vertelt hij. ‘Maïsteelt is natuurlijk berucht vanwege de enorme hoeveelheden mest die op het gewas worden gebracht. We meten hier tot op de dag van vandaag dan ook nog fenomenale hoeveelheden fosfaat in de bodem. Ik denk dat er niet veel plekken in Nederland zijn waar zoveel fosfaat in de bodem zit.’

‘Een ander probleem is de hoeveelheid wilde zwijnen. Die woelen de bodem steeds om, waardoor de natuur eigenlijk niet voorbij het pioniersstadium komt. Voor het interessant kan worden schoffelen de zwijnen het weer om. Wat we hier nu vooral zien is een dichte deken van het giftige jacobskruiskruid.’

Iets verderop op de Dennekamp is de natuur al een stuk verder gekomen. ‘Ook dit was landbouwgebied’, weet Bezemer. ‘Natuurmonumenten heeft dit stuk grond in ruim dertig jaar terug verworven. Hier was de fosfaatbelasting minder. In de loop van de tijd heeft zich hier mooie natuur ontwikkeld. Er zijn hier spontaan planten opgekomen die horen bij de zogenoemde heischrale graslanden. Dan moet je denken aan liggend walstro, zandblauwtjes of pilzegge, maar ook soorten die op de Rode Lijst

van bedreigde en beschermde planten staan, zoals borstelkrans.’

Ook op de Dennekamp zie je her en der wel wroetsporen van de zwijnen. Maar daar tussendoor liggen verschillende kale plekken die wat zorgvuldiger lijken uitgegraven. ‘Hier hebben we de afgelopen dagen grond verzameld voor een nieuw experiment’, legt Bezemer uit. ‘Op gerichte stukjes hebben we steeds een zak grond verzameld van een liter of twintig. Die staan nu klaar om getransplanteerd te worden op de Mossel. Daarmee willen we onderzoeken of we de natuurontwikkeling in dat gebied een duwtje in de goede richting kunnen geven.’

## Maaisel of bodem

Terreinbeheerders proberen al veel langer om natuurontwikkeling een beetje te sturen, door maaisel uit andere gebieden uit te strooien in nieuwe terreinen, weet Bezemer. ‘De gedachte daarachter is natuurlijk dat dat maaisel ook veel zaden en “stekjes” bevat van planten die je graag in je nieuwe gebied wilt hebben. Maar in de praktijk blijkt dat vaak toch niet zo te werken. Ons idee is dat daarbij een belangrijke stap wordt vergeten: de bodem!’

In eerdere experimenten hebben de onderzoekers van het NIOO in samenwerking met Natuurmonumenten, al laten zien dat ze door middel van een transplantatie van plagsel uit heideterreinen de ontwikkeling van nieuwe natuur beter kunnen sturen. Bezemer: ‘Als je niet alleen maaisel, maar met het plagsel ook de bodem van die heideterreinen uitstrooit, krijg je op maagdelijke terreinen

# natuur zetje in de goede richting'

veel sneller heidenatuur terug dan wanneer je alleen maaisel uitstrooit.'

In dit nieuwe experiment willen Bezemer en zijn collega's kijken of ze de sturing nog wat nauwkeuriger kunnen doorvoeren. 'We hebben hier nu honderd proefvlakken gemaakt van twee bij twee meter. Daar halen we eerst alle onkruiden vanaf. Op de zwarte grond brengen we vervolgens een heel dun laagje grond dat we op specifieke stukjes uit de Dennekamp hebben weggehaald. Hier een stukje waar breedbladige planten groeiden, daar een beetje grond waar verschillende grassoorten op hebben gestaan. Onze vraag is nu: kunnen we de nieuwe natuur ook op plantniveau sturen? Kunnen we met dat dunne laagje grond ook de specifieke bacteriën en schimmels transplanteren die bij de rijkere natuur horen?'

## Netwerk in de bodem

In het lab heeft Bezemer al wel duidelijke aanwijzingen gevonden dat een plant een specifieke 'vingerafdruk' achterlaat in de bodem. 'Wat die vingerafdruk precies is, weten we eigenlijk niet. Maar planten doen overduidelijk "iets" met bacteriën, schimmels en andere bodemorganismen. En het is ook andersom: de bodemorganismen beïnvloeden natuurlijk ook de planten. En ze beïnvloeden elkaar. Het is een ingewikkeld netwerk van organismen. Met dit experiment in de Dennekamp willen we kijken of we die kennis ook praktisch kunnen toepassen.'

Het transplanteren van de specifieke signatuur van een stuk grond heeft niet alleen potentie in de natuur. Bijvoorbeeld ook chrysantentelers kunnen



er hun voordeel mee doen, denkt Bezemer. 'Om de zoveel tijd moeten die telers hun grond ontsmetten, met hete stoom. Maar binnen de kortste keren komen er dan toch weer ziektekiemen in, waarna ze wéér moeten ontsmetten, enzovoort. Zou het voor die telers niet veel slimmer zijn om de net ontsmette, steriele grond te "inoculeren" met een beetje gezonde bodem, waar de juiste micro-organismen al in zitten? De komende tijd willen we met experimenten in het lab ook kijken of je de grond langer ziektevrij kunt houden door hem bij het begin een duw in de gezonde richting te geven.'

*Ir. Rob Buijer*

**Behalve fundament en een bron van voeding, is de bodem ook steeds vaker een bron van inspiratie voor ingenieurs en farmaceuten. Bacteriën in de bodem blijken heel goed in het opruimen van verontreiniging en ze leveren bovendien nieuwe antibiotica. En als je een stekker in de bodem stopt, komt er nog stroom uit ook!**



# 6 Tech uit de bodem

■ IR. ROB BUITER

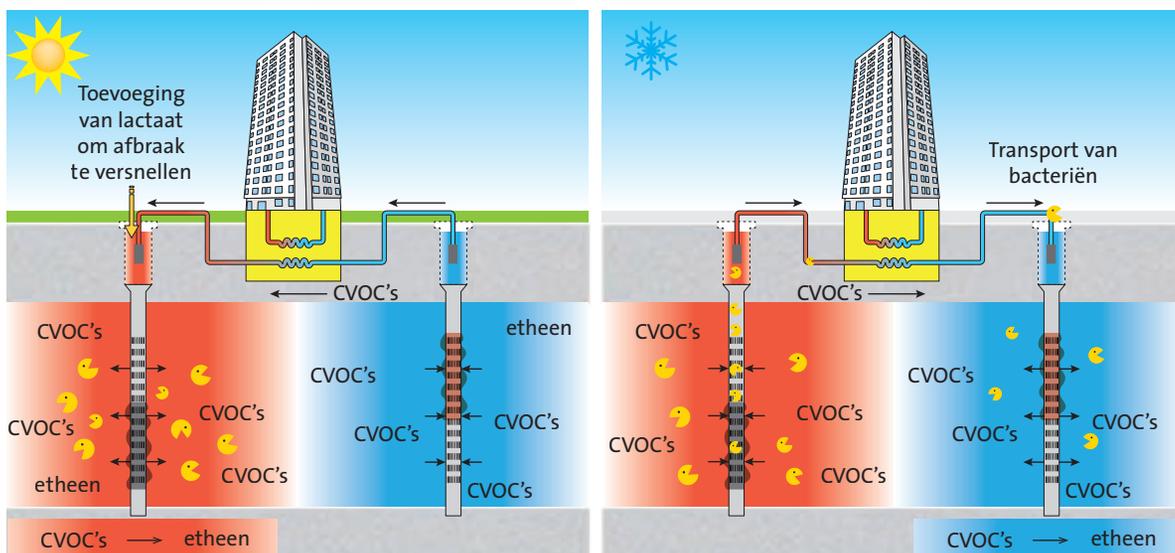
**O**P STEEDS meer plaatsen in Nederland wordt het water in de bodem gebruikt om 's zomers warmte in op te slaan, om die energie er 's winters weer uit te tappen. Deze zogeheten warmte-koudeopslag (WKO) is een duurzame bron van energie. Vergeleken met de koeling op basis van een gewone airconditioner, bespaart een WKO-systeem naar verluidt 's zomers 95% op de benodigde energiekosten. Het grondwater is in de zomer immers een stuk koeler dan de buitenlucht. In de winter wordt het licht opgewarmde grondwater eerst langs een warmtewisselaar gepompt om het huis te kunnen verwarmen. Maar zelfs dan gebruikt het systeem nog steeds bijna de helft minder energie dan een gewone verwarming op basis van aardgas.

Los van het duurzame gebruik van energie, biedt warmte-koudeopslag nog een ander belangrijk voordeel, zo schreef de Wageningse promovendus Zhuobiao Ni, van de Environmental Technology Group van Wageningen University & Research eind 2015 in zijn proefschrift: je kan het systeem gebruiken als een soort wasmachine voor bodemsanering! In de bodem rondom een WKO-installatie beweegt het water in de loop van een jaar heen en weer tussen het deel van de bodem waar

opgewarmd grondwater wordt opgeslagen en het deel waar het koelere water zit. Met laboratoriumproeven liet Ni zien dat bepaalde bacteriën in de bodem verontreiniging kunnen 'opeten', waarbij ze zich hechten aan bodemdeeltjes. Ze kunnen zo alle verontreiniging opeten in het langsstromende water. Door de hogere temperatuur in de warme bron werken de micro-organismen bovendien sneller en kunnen ze zich ook veel sneller vermeerderen.

'Het is een zichzelf versterkend proces', zegt de co-promotor van Ni, de Wageningse milieutechnoloog dr. Tim Grotenhuis. 'Door het gebruik van de waterbeweging en de opgeslagen warmte kunnen de bodembacteriën zelfs meer dan een factor tien sneller vervuiling opnemen en onschadelijk maken. Als de bacteriën in de praktijk dezelfde prestaties leveren als in het lab, kan je door de combinatie van WKO en biologische sanering in drie jaar evenveel grond saneren als met de huidige technieken in dertig jaar. Bovendien is het veel goedkoper', vertelt Grotenhuis. 'Ni heeft zijn proeven gedaan met bodemmonsters uit het stationsgebied van Utrecht. De sanering van de bodemverontreiniging daar zou met de traditionele bodemsaneringstechnieken, als oppompen en "in situ bioremediatie", zo'n honderd miljoen

Rond het Centraal Station van Utrecht is geëxperimenteerd met het biologisch reinigen van vervuilde bodems.

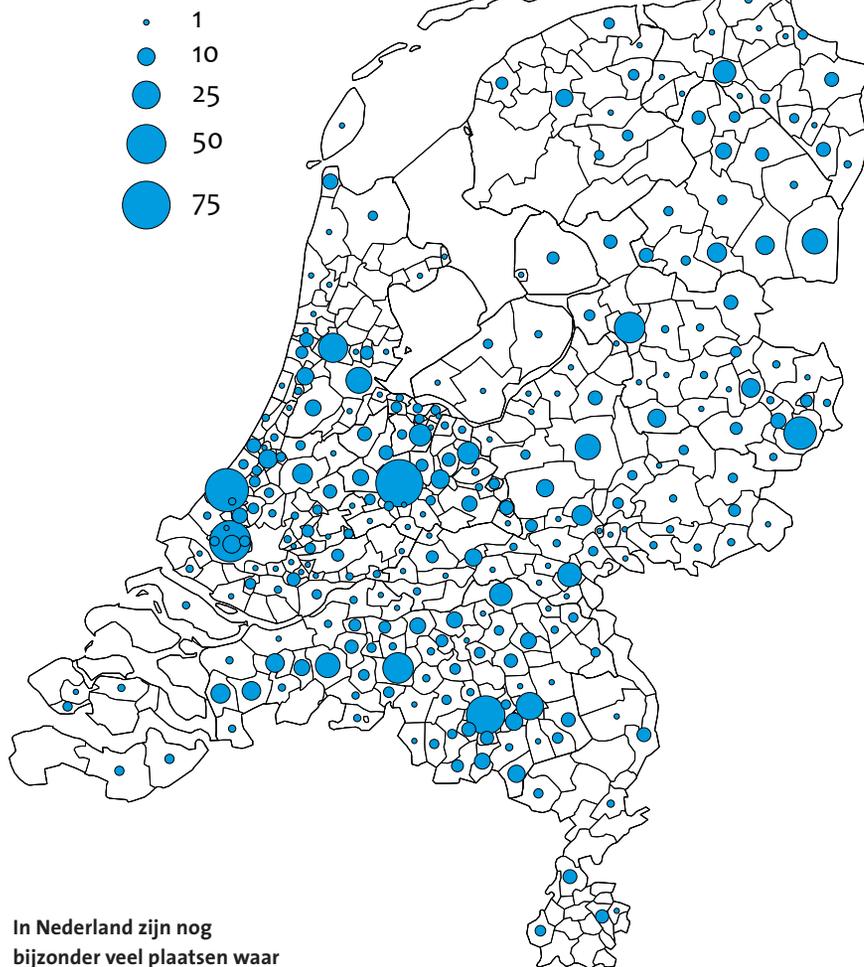


**Zomer (links):** De zon verwarmt het gebouw. Die warmte wordt afgegeven aan het koude grondwater (blauw) dat door de WKO-installatie wordt opgepompt. De verontreiniging (in dit geval CVOC's, een oplosmiddel uit chemische wasserijen) wordt met het koude water naar de warme (rode) kant gepompt, waar het versneld door bacteriën wordt afgebroken tot onschadelijk etheen. Door lactaat toe te voegen, worden optimale omstandigheden gecreëerd voor de bacteriën die het werk moeten doen.

**Winter (rechts):** Het gebouw wordt verwarmd met grondwater uit de bron die warm is geworden door de opslag van warmte in de zomer (rood). De meeste bacteriën blijven in deze bron aan de bodem vastzitten om langskomende verontreiniging af te breken. Een klein deel van de bacteriën stroomt langs de warmtewisselaar naar de koude bron.

## Spoodlocaties bodemverontreiniging per gemeente, 2014

Totaal 1518 locaties



In Nederland zijn nog bijzonder veel plaatsen waar verontreiniging in de bodem zit. Op deze locaties is het probleem het meest urgent.

euro hebben gekost. Met de 'biowasmachine' is dat naar schatting elf miljoen', aldus Grotenhuis.

### Angst voor verspreiding van vuil

Warmte-koudeopslag is niet zonder meer toegestaan in Nederland. Eén van de criteria waar de overheid naar kijkt voor er een vergunning wordt gegeven, is of er een risico is op de verspreiding van bodemverontreiniging door het heen en weer-pompen van het grondwater. Dat is bijvoorbeeld belangrijk om drinkwaterbronnen, die meestal buiten de stad liggen, te beschermen. Deze eis van schone grond kan een enorme rem zetten op de duurzame bron van energie die WKO is. Nederland telt immers al gauw 11 duizend locaties waar de bodemvervuiling risico's met zich meebrengt bij warmte-koudeopslag. Veel van die verontreinigingen komen uit de oude chemische wasserijen. Die locaties zijn vooral in steden te vinden, en dat zijn nou net de plaatsen waar WKO goed van pas zou komen, vanwege de grote vraag naar warmte in de winter en koeling in de zomer. Wanneer de overheid, zoals in Utrecht, meer WKO-installaties toestaat in vervuilde gebieden, kan dat dubbele winst opleveren. Zeker als de grondwaterwingebieden buiten de stad liggen. Oppompen en behandelen van het door de bodemverontreiniging vervuilde grondwater zonder warmte-koudeopslag kan natuurlijk ook, maar dan staat er twintig tot dertig jaar een pomp te draaien. Biologische bodemsanering ter plaatse duurt lang en de monitoringskosten lopen over zo'n lange periode flink op. De combinatie met energieopslag zou die kosten sterk kunnen terugdringen.

## Bron van antibiotica

■ PROF. GILLES VAN WEZEL

**R**EDER ZAL zijn eigen associatie hebben met de bodem. Toch ervaren de meeste mensen een typische grondlucht als aangenaam. De typerende, licht zoetige lucht van de bodem associëren we met buiten zijn en met gezondheid. Die lekkere grondlucht is eigenlijk niks anders dan een chemische verbinding: geosmine. Het is een vluchtige organische verbinding die gemaakt wordt door bodembacteriën: de actinomyceten. Geosmine is één van de vele secundaire metabolieten die actinomyceten produceren.

Een bijzondere groep van actinomyceten zijn de streptomyceten. Ook die zijn sterk geassocieerd met gezondheid. Wat heet: streptomyceten zijn regelrechte medicijnmakers! Streptomyceten groeien net als andere actinomyceten op een manier die veel weg heeft van die van schimmels,

De zoete lucht van zwarte aarde associëren de meeste mensen met 'lekker'.



namelijk door de vorming van een groot draden-netwerk of mycelium. Ze planten zich voort via de vorming van sporen. Die draden worden hyfen genoemd. In een voedingsrijke bodem zullen de hyfen groeien, maar zodra het voedsel opraukt zullen ze een nieuwe fase in de levenscyclus ingaan, waarbij gespecialiseerde hyfen worden gevormd. Die zogenoemde luchthyfen ontwikkelen uiteindelijk tot lange ketens van sporen. De miljoenen sporen die zo worden gevormd, kunnen zich vervolgens verspreiden om elders weer nieuw leven te beginnen.

Streptomyceten zijn zeer belangrijk als bron van antibiotica: niet minder dan de helft van alle antibiotica die we tegenwoordig in de kliniek gebruiken wordt geproduceerd door streptomyceten. De 'oudste' is streptomycine, maar daarna werden nog vele andere ontdekt met een grote diversiteit aan werkingsmechanismen en activiteit. De meesten van ons hebben dan ook ooit wel eens een medicijn gebruikt dat oorspronkelijk uit een streptomyceet komt. De overige antibiotica komen voornamelijk uit andere actinomyceten of uit schimmels. Antibiotica zijn in 1928 – mede – ontdekt door de Britse arts Alexander Fleming, toen hij een 'schimmelinfectie' kreeg op de kweekplaatjes waar hij bacteriën op probeerde te kweken. In aanwezigheid van de schimmels wilden de bacteriën niet meer groeien! Op die manier werd penicilline ontdekt, een antibioticum geproduceerd door schimmels..

Behalve antibiotica produceren streptomyceten ook een breed scala aan andere belangrijke natuurstoffen, zoals antitumor-, antischimmel- en antiwormverbindingen, evenals vele enzymen die gebruikt worden in de biotechnologie.

### Resistentie voorkomen door variatie

Eén van de grootste uitdagingen waar de huidige gezondheidszorg voor staat is het hoofd bieden aan antimicrobiële resistentie, dat wil zeggen het snel oprukken van ziekteverwekkende bacteriën die

resistent zijn tegen meerdere – soms nagenoeg alle – antibiotica. Minister Schippers van Volksgezondheid, Welzijn en Sport heeft antibioticaresistentie daarom topprioriteit gemaakt binnen Europa onder het Nederlands voorzitterschap in 2016.

In de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw was het nog erg gemakkelijk om antibiotica te ontdekken: nagenoeg elke streptomyceet produceert ze wel en willekeurige bodemonsters leverden vele streptomyceten op die nieuwe antibiotica maakten. Maar het is net als bij spaaracties met voetbalplaatjes in de supermarkt: in het begin is alles nieuw maar langzamerhand krijg je steeds meer dubbele en uiteindelijk moet je veel geld investeren voor je de laatste plaatjes te pakken hebt. Die benodigde grote investeringen hebben ertoe geleid dat de farmareuzen zich hebben teruggetrokken uit dit veld. Het gevolg: er komen nog nauwelijks nieuwe antibiotica op de markt!

Is de bodem dan uitgeput als bron van nieuwe medicijnen? Het tegendeel lijkt waar. Er zijn waarschijnlijk vele duizenden antibiotica die we nog niet hebben ontdekt. De wetenschappelijke consensus is zelfs dat we nog maar enkele procenten kennen. Dat heeft twee oorzaken: ten eerste kunnen veel bacteriën helemaal niet gekweekt worden in het laboratorium. Recent heeft de Amerikaanse microbioloog Kim Lewis laten zien dat wanneer je die bacteriën wél kunt kweken, je ook vrijwel direct nieuwe verbindingen kunt vinden. Het is dus zaak dat we die grote biodiversiteit gaan ontginnen door nieuwe kweekmethoden te ontwikkelen.

Ten tweede is het zo dat veel antibiotica niet geproduceerd worden onder de standaardomstandigheden waaronder we bacteriën in het laboratorium laten groeien. Dit zijn als het ware ‘slapende antibiotica’. Toen aan het begin van de eenentwintigste eeuw de eerste genomen van streptomyceten werden gesequenced (door de teams van Sir David Hopwood en van nobelprijswinnaar Satoshi



**Alexander Fleming stond aan de basis van de ontdekking van antibiotica.**

Omura) bleek dat deze veel meer genetische informatie voor de productie van antibiotica bevatten dan ooit was vermoed. En dat in bacteriën waar nota bene al vijftig jaar zeer intensief onderzoek aan was gedaan door tientallen, zo niet honderden onderzoeksteams, waardoor het haast onmogelijk leek dat er in deze stammen nog meer antibiotica konden worden ontdekt. Deze kennis heeft een revolutie teweeggebracht in de manier waarop we naar deze bodembacteriën kijken; het zijn als het ware medicijnmakers.

### **Microfarmaceuten wakker schudden**

De grote uitdaging ligt nu dus in het ‘wakker’ maken van deze slapende antibiotica. Dat moet gebeuren door beter te begrijpen wat de precieze signalen zijn die in de bodem leiden tot de productie van deze stoffen. Antibiotica zijn vaak zeer complexe moleculen, en de productie ervan kost een bacterie dan ook veel energie. Dat moet bovendien

Lang niet alle bacteriën zijn in het lab te kweken.



---

## Revolutie: bodem- bacteriën zijn medicijn- makers

gebeuren in een fase van de levenscyclus waarin juist weinig voedsel in de bodem aanwezig is en energie dus schaars is. De bacterie moet kiezen: investeer ik de energie in groei en voortplanting (sporulatie), of investeer ik deze in het maken van antibiotica? Dat laatste zal alleen lonend zijn als er een ernstige bedreiging wordt gesignaleerd, zoals een snelgroeiende concurrent of een andere bacterie die zelf bedreigende antibiotica produceert.

Alle bacteriën produceren signaalmoleculen voor onderlinge communicatie. Die kakofonie van signalen moet de streptomyceet verwerken en vertalen naar het aan- of juist uitzetten van allerlei genen, zodat de juiste moleculen op het juiste moment worden geproduceerd. Het ligt dus voor de hand dat er signalen in de bodem rondgaan die de sleutel zijn tot het activeren van slapende

antibiotica. Het is dan ook van groot belang dat we leren begrijpen wat er in de bodem gebeurt. Die inzichten zullen als basis kunnen fungeren voor het ontwikkelen van innovatieve methoden om te gaan screenen voor nieuwe medicijnen. De rol van de bodem als medicijnenfabriek is nog lang niet uitgespeeld.

## Bodem wordt batterij

■ IR. ROB BUITER

**H**ET HEEFT iets magisch. Wanneer dr. Marjolein Helder in het kantoor van haar Wageningse bedrijf Plant-e een ledlampje aansluit op twee draadjes die uit een plantenbak steken, gaat dat lampje spontaan branden! 'En nee, er zit geen batterijtje in de bodem', lacht Helder. 'Deze plantenbak is een onderdeel van ons modulaire systeem. Je kan meerdere van deze plantenbakken schakelen, tot een systeem van honderd vierkante meter aan toe. Op verschillende plaatsen in het land staan nu dit soort systemen. Zo heeft de gemeente Ede een verlichte vangrail die zijn stroom krijgt van honderd vierkante meter van deze plantenbakken. Een bedrijf kan met die honderd vierkante meter bijvoorbeeld ook een wifi-hotspot van stroom voorzien.'

Deze vangrail in Ede wordt verlicht op basis van de stroom uit de bodem van een naastgelegen natte groenstrook.



### Bacteriën

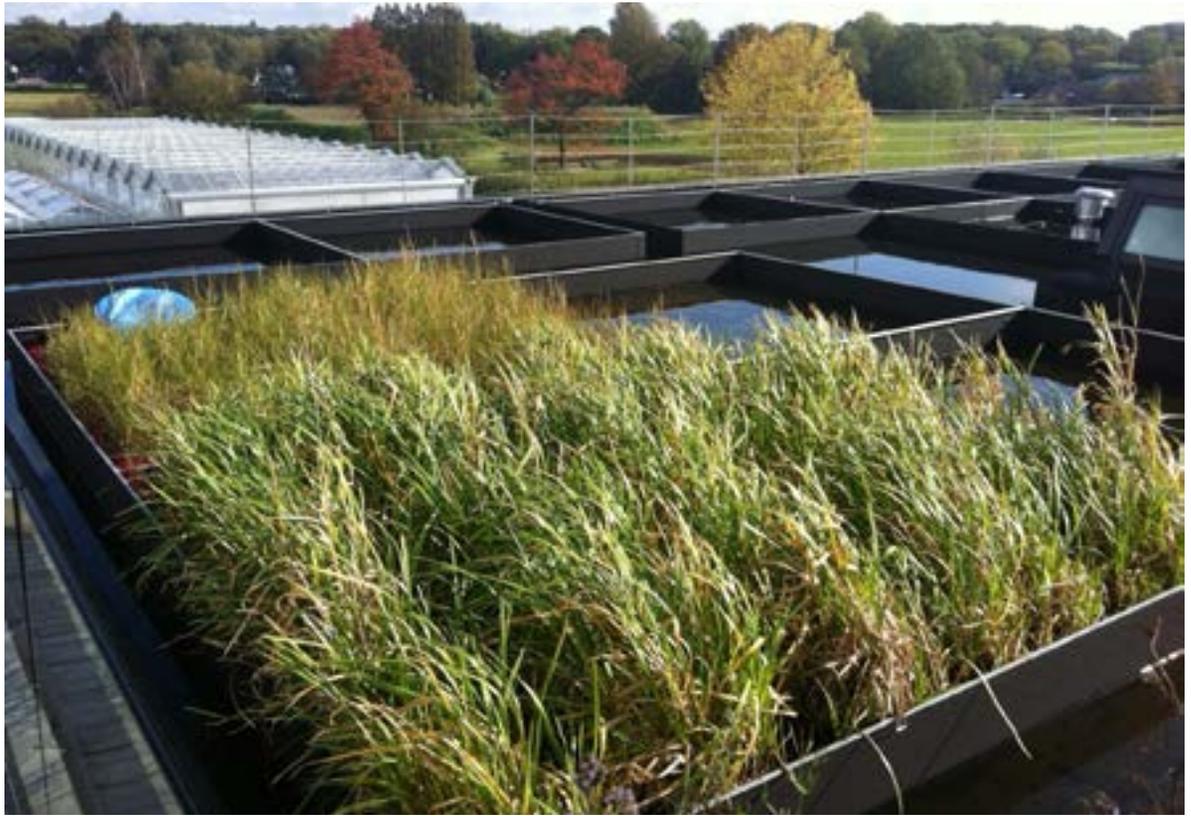
Strikt genomen zit er natuurlijk wél een soort batterijtje in de bodem van de plantenbak. Bacteriën rond de wortels van planten leven van de voedingsstoffen die ze van die plant krijgen. Die zogenoemde exudaten bestaan voor een belangrijk deel uit suikers, die door de bacteriën worden afgebroken. Bij dat proces ontstaan vrije, negatieve elektronen en positieve waterstofionen. 'Wat wij doen is niets meer dan die geladen deeltjes aftappen met behulp van elektrodes.' Helder laat het verrassend simpel klinken, maar echt voor de hand liggend is het principe niet. Het was destijds in ieder geval zó vernieuwend dat er nu een patent op rust dat in handen is van Plant-e, het bedrijf dat Helder samen met David Strik in 2009 oprichtte.

Niet alle planten blijken geschikt om voor stop-contact te spelen, legt Helder uit. 'Het is belangrijk dat er geen zuurstof bij de wortels komt. Als er wel zuurstof is, dan gaan die vrije elektronen van de bacteriën liever aan de zuurstofatomen zitten, dan aan onze elektrode. Dat betekent dat je alleen elektriciteit uit planten kunt halen die met hun wortels helemaal onder water staan. Dat zorgt voor zuurstofloze omstandigheden en maakt tegelijk dat de elektronen makkelijk via het water naar de polen van onze "generator" stromen.'

### Duurzaam

De techniek van elektriciteitswinning uit planten en bacteriën is op en top duurzaam, stelt Helder. 'Er bestaan ook *gadgets* die stroom tappen uit bijvoorbeeld een appel. Door een koperen en een zinken elektrode in een appel te steken kun je ook een klein beetje elektriciteit winnen. Maar bij dat proces lossen de twee elektrodes heel langzaam op. Dan breng je dus koper en zink in het milieu. Wij gebruiken inerte elektrodes. Daar gebeurt helemaal niets mee tijdens de elektriciteitswinning. En ook de plant en de bacteriën worden er niet anders van. Die groeien net zo hard door als altijd. Er hoeft

Op het dak van het Nederlands Instituut voor Ecologie in Wageningen leveren plantenbakken (een beetje) stroom via de draadjes die aan de voorkant uit de bak steken.



ook geen extra mest bij. Het systeem draait voor 100% op het zonlicht waar de planten hun energie uit halen.'

### Moerasnatuur

De hamvraag is natuurlijk hoevéél elektriciteit de planten kunnen leveren. 'Een bak van een vierkante meter met moerasplanten kan onder optimale omstandigheden in het lab een vermogen van één watt bereiken', zegt Helder. 'Als je het systeem optimaliseert zou je dat theoretisch zelfs kunnen opschroeven tot ruim drie watt. Dat klinkt misschien niet indrukwekkend, maar je moet wel bedenken dat die planten dat dag en nacht produceren. Licht of donker, zon of regen, wind of niet, ze leveren continu stroom. En reken dan

eens door: dan levert die ene vierkante meter in 365 dagen van 24 uur tot maximaal 28 kilowattuur per jaar. Een hectare planten, bijvoorbeeld in een moerasgebied, kan dan zelfs theoretisch 280.000 kilowattuur per jaar leveren. Met gemiddeld 3.500 kilowattuur per huishouden is dat het elektriciteitsverbruik van ongeveer 80 Nederlandse huishoudens. En dat uit slechts één hectare natte natuur! In de praktijk halen we dat soort opbrengsten nog niet, maar het geeft wel aan wat de potentie is van het systeem. Bovendien kun je deze vorm van elektriciteitsproductie combineren met andere, bestaande functies van een gebied, zoals natuur. Dat is eigenlijk nog veel belangrijker dan hoevéél elektriciteit je produceert.'

Volgens dit principe denkt Plant-e dat je –

op papier – met minder dan 10% van alle Nederlandse natte natuur in de huidige elektriciteitsbehoefte van de Nederlanders kunt voorzien. Wereldwijd zou het gaan om 15% van de natte natuur. ‘Dan moet je denken aan moerasgebieden, maar ook aan rijstvelden’, aldus Helder. ‘Let wel: met die één tot drie watt per vierkante meter presteert onze plantenelektriciteit overigens een stuk beter dan de biomassa die we nu als zogenaamd groene stroom bestempelen. We laten gewassen groeien, moeten die machinaal oogsten en vervoeren, we vergisten de plantenresten en verstoken het opgevangen gas vervolgens in elektriciteitscentrales. Als je alle energieverliezen onderweg meerekent, levert groene stroom uit biomassa uiteindelijk veel minder dan één watt per vierkante meter landbouwgrond.’

### Veenweidegenerator

Naast de schakelbare plantenbakken, heeft Plant-e inmiddels ook een soort buizen geproduceerd, waar alle benodigde techniek in is verwerkt. ‘Deze zomer hebben we die buizen bij wijze van experiment ingegraven in een veenweidegebied in Zuid-Holland en dat gaan we ook doen in een nat natuurgebied in Brabant. Onze droom is dat we die buizen in de bodem van nog veel meer bestaande natte natuurgebieden kunnen leggen. Op die manier kun je zonder die natuur te beïnvloeden elektriciteit uit de planten halen.’

Iets verderop in Wageningen, op het dak van het Nederlands Instituut voor Ecologie, het NIOO, heeft Plant-e al het eerste elektriciteitproducerende groene dak ter wereld gebouwd. Daar staan planten in een laagje water die daadwerkelijk stroom leveren. ‘De eerlijkheid gebied te zeggen dat dit dak nog niet veel elektriciteit levert, maar ook dit was voor ons vooral een bewijs van het principe. We onderhouden het systeem nauwelijks, maar toch levert het al een beetje stroom. In winters met vrieskou viel het systeem ook even stil om na de

dooi weer vanzelf op te starten. Maar dit dak was voor ons wel de opmaat voor meer elektriciteitsproducerende groene daken die we samen met bijvoorbeeld bouwbedrijven willen ontwikkelen.’

Hoewel de producten van Plant-e nog volop in ontwikkeling zijn en nog behoorlijk prijzig, heeft het bedrijf ook al producten voor consumenten, vertelt Helder. ‘Via de webshop kun je je eigen plantbatterijtjes aanschaffen als Do-It-Yourself pakket.’

# Landbouwtech zónder bodem

**D**E BODEM is niet strikt noodzakelijk om planten te laten groeien, ook in de land- en tuinbouw niet. Sterker nog: het grootste deel van de tomaten, komkommers en paprika's uit de kas wordt al een jaar of dertig zonder bodem op substraat geteeld. Voor meer en meer gewassen komen mogelijkheden beschikbaar om zonder grond, in substraat of op water te telen, niet alleen in de kas maar ook buiten.

Sinds 2009 is er een apart onderzoeksprogramma dat voor groenten, fruit, bloembollen, bomen en bloemen nieuwe systemen ontwikkelt om los van de grond te telen: 'Teelt de Grond uit'. Het programma ontwikkelt nieuwe teeltsystemen die moeten voldoen aan de Europese regelgeving voor de waterkwaliteit, met minder emissie van gewasbeschermingsmiddelen en voedingsstoffen. Daarnaast willen ondernemers die de systemen gaan gebruiken natuurlijk dat ze rendabel zijn en andere voordelen opleveren, zoals een grotere arbeidsefficiëntie, betere productkwaliteit of nieuwe marktkansen. En uiteraard moeten ook de consument en de maatschappij de nieuwe teeltsystemen waarderen.

## Systemen die passen bij het gewas

In het onderzoek werken onderzoekers van Wageningen University & Research samen met telers, Proeftuin Zwaagdijk en diverse andere partijen, aan het ontwikkelen van nieuwe teeltsystemen. Voor elk gewas maken de onderzoekers eerst een programma van eisen en een ontwerp, dat op kleine schaal wordt getest. Daaruit komen

de systemen die het best bij een gewas passen. Zo bleek dat traditionele vollegrondsgroenten zoals sla, en ook verschillende bloemen, goed geteeld kunnen worden op drijvende systemen. Aardbeien kunnen in goten op stellingen worden geteeld, met een dunne waterlaag of met substraat. Voor appels, bloembollen en vaste planten zijn sleuven of bedden met substraat in de grond beter. Voor blauwe bes en sommige boomkwekerijgewassen heeft het voordeel om ze in potten met substraat te telen. Andere boomkwekerijgewassen groeien weer beter in goten met substraat boven de grond.

Bij de start van het programma in 2009 waren verschillende telers al zelf aan de slag met 'teelt de grond uit' op hun eigen bedrijf. Sindsdien is het aantal telers dat experimenteert sterk gegroeid. In alle sectoren zijn er nu telers die zelf een teeltsysteem hebben aangelegd, vaak nog wel kleinschalig en experimenteel.

Teelt zonder grond kan voor veel gewassen rendabel zijn. Er zijn wel extra kosten, voor bijvoorbeeld stellingen waar de planten in groeien, maar die worden doorgaans weer gecompenseerd door snellere groei, hogere opbrengst, grotere plantdichtheid en minder arbeid. Hoe groter de waarde van een gewas, hoe makkelijker het rendabel te maken is. Voor een goedkope bloemkool is teelt zonder grond bijvoorbeeld nog lastig, voor een boom is dit makkelijker.

## Voordelen voor de maatschappij

In de nieuwe teeltsystemen kan het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen sterk worden beperkt. Ook de inzet van meststoffen, zowel de



**Deze slaplantjes groeien zonder één korreltje grond.**

macronutriënten als stikstof en fosfaat, als de verschillende sporenelementen, kan worden beperkt. Als de telers ook nog de kennis en kunde hebben om het gebruikte water te recyclen, zorgt dit voor een enorme reductie van de emissies van meststoffen, insecticiden, herbiciden en fungiciden.

Een ander duurzaamheidsvoordeel van teelt zonder grond is dat er minder land nodig is per eenheid product. In de nieuwe teeltsystemen kun je de teelt versnellen, de plantdichtheid verhogen en daarmee vaak ook de opbrengst per hectare verhogen. Er zijn ook talloze mogelijkheden om de arbeidsefficiëntie en de arbeidsomstandigheden te

verbeteren. In veel gevallen moet hier nog wel de mechanisatie voor ontwikkeld worden.

Tegenover die voordelen staan ook nadelen. Het rondpompen van water bijvoorbeeld, vraagt relatief veel energie. Dit energieverbruik kan wel verlaagd worden door het kiezen voor duurzame herbruikbare materialen en door het efficiënter rondpompen van water.

### **Maatschappelijke acceptatie**

Consumenten blijken overwegend positief te zijn over de nieuwe teeltsystemen als duidelijk is wat de voordelen zijn. Daarbij letten consumenten vooral op eigenschappen als lekker, gezond of schoon. Uit onderzoek met paprika en tomaat is gebleken dat teelt in de grond of teelt op substraat geen meetbaar effect heeft op de smaak van het product, in tegenstelling tot bemesting of raskeuze. Een negatief punt is het industriële aanzicht van het systeem. Voor lokale overheden geldt hetzelfde: men is huiverig voor eventuele landschappelijke aantasting maar men ziet ook de voordelen van de systemen. Om de benodigde vergunningen te krijgen om deze systemen aan te leggen is het dus belangrijk in gesprek te gaan met de omgeving over de voor- en nadelen van de systemen.

*Ir. Janjo de Haan*

## Epiloog: Grond voor inspiratie

**D**IT CAHIER geeft een – op het eerste gezicht misschien caleidoscopisch – beeld van het huidige onderzoek naar de levende bodem, dat wordt gedreven door verwondering en nieuwsgierigheid, door het vermoeden van nieuwe toepassingsmogelijkheden, en door de wens om de bodem (weer) geschikt te maken voor duurzaam gebruik.

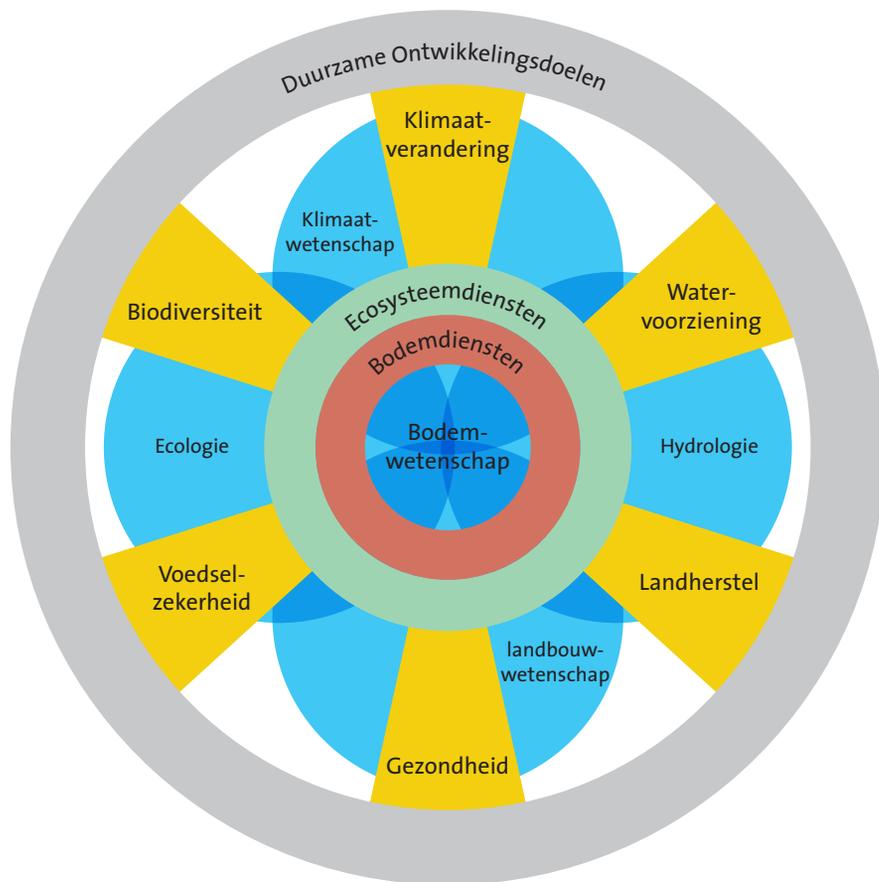
Als we uitzoomen naar een compleet beeld van onze planeet, dan zien we dat sommige menselijke activiteiten de grenzen van het duurzaam functioneren van de aarde al te boven gaan, zoals het gebruik van stikstof en fosfor in de vorm van kunstmest. Diverse andere activiteiten vormen een toenemend risico, zoals verandering van landgebruik en andere activiteiten die leiden tot klimaatverandering. Die activiteiten zijn allemaal gerelateerd aan het gebruik van de bodem. In die zin is het maar goed dat er door ‘Brussel’ geen aparte bodemrichtlijn is uitgevaardigd. Een sectorale aanpak zou wel eens in de weg kunnen staan van de noodzakelijke integrale benadering, die bijvoorbeeld wordt geschetst in een artikel van de Wageningse onderzoekster Saskia Keesstra en collega's, over de rol van de bodem in de Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de VN. Naast milieudoelen schetsen zij de rol van de bodem in voedselzekerheid, gezondheid, waterbeschikbaarheid, landgebruik, klimaatverandering en behoud van biodiversiteit. Deze doelen zijn sterk verbonden met duurzaam bodemgebruik. Voedsel komt grotendeels van de grond en voedselkwaliteit bepaalt onze gezondheid. Waterbeschikbaarheid is een randvoorwaarde voor het functioneren van

de bodem, en omgekeerd. De bodem is een belangrijke producent van broeikasgassen maar kan die ook opslaan. En, wat velen zich niet realiseren, het grootste deel van de biodiversiteit bevindt zich in de bodem.

De bijdrage van de bodem aan het realiseren van deze duurzame ontwikkelingsdoelen wordt zeer sterk beïnvloed door de landbouw. Dat geldt niet alleen voor landgebruik, voedselzekerheid en gezondheid, maar ook voor waterbeschikbaarheid, klimaatverandering en behoud van biodiversiteit, simpelweg doordat de landbouw een groot deel van het landoppervlak in beslag neemt. Wereldwijd is een derde deel van de grond in gebruik voor akkerbouw en veeteelt. Nog eens een derde is in gebruik als grasland en steppe waar vee kan grazen. In Nederland is het aandeel zelfs nog hoger: meer dan twee derde van ons land is in gebruik voor akkerbouw en veeteelt. Duurzaam bodembeheer vereist in de praktijk dan ook vooral duurzame landbouw.

### **Belangrijke rol van de bodemwetenschap**

Veel mensen zijn gewend aan goedkoop voedsel. Wordt het door schaarste in korte tijd duurder, dan blijkt er snel maatschappelijke onrust te ontstaan. Wereldwijd is landbouw sinds de regionale voedselrellen van 2008 terug op de politieke agenda en is duurzame landbouw onderwerp van een interessante richtingenstrijd binnen en buiten de wetenschap. Duurzame landbouw gaat niet meer alleen over voedselproductie, maar ook over maatschappelijke acceptatie van de manier waarop we ons voedsel produceren. In lijn daarmee verschuift



Zes wereldwijde thema's, gerelateerd aan de Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties, waarin de bodem(wetenschap) een cruciale rol speelt: voedselzekerheid, menselijke gezondheid, landherstel, waterzekerheid, (tegengaan van) klimaatverandering en behoud van biodiversiteit.

de focus in het landbouwbeleid van voldoende en veilige producten naar maatschappelijk aanvaardbare productiewijzen. Landbouwbeleid evolueert daarmee in rap tempo in de richting van voedselbeleid. In het 'voedselsysteem' worden de samenhang en machtsverhoudingen tussen de spelers op het gebied van productie, verwerking, distributie en consumptie van voedsel mede bepaald door de waarden in de samenleving ten aanzien van gezondheid, dierenwelzijn, klimaat, milieu en natuur.

Uit het hoofdstuk 'Zwarte aarde' in dit cahier blijkt dat ons vermogen om bodems met gewenste eigenschappen te vervaardigen nog beperkt is. Bodemvorming is een langzaam proces en we begrijpen ook nog onvoldoende wat ervoor nodig is. Dat maakt het des te urgenter om bij het produceren van ons voedsel van bestaande bodems uit te gaan. De hoofdstukken 'Bodemverbeterende landbouw' en 'Bodemgezondheid' geven een bemoedigend handelingsperspectief op herstel van ecosysteemdiensten waar die (deels) verloren zijn gegaan.

Het hoofdstuk 'Een gezonde economie op een gezonde bodem' brengt dit visionair in beeld. Dit hoofdstuk laat ook zien dat een visie het best concreet gemaakt kan worden op landschapsniveau, waar alle actoren geworteld zijn in concrete praktijken. Er zijn tal van initiatieven, ook in Nederland, die daarvan getuigen.

De Hoeksche Waard is een illustratief voorbeeld, waaruit blijkt dat de bodemwetenschap samen met maatschappelijke partijen een belangrijke rol heeft. Akkerbouwers in de Hoeksche Waard,

verenigd in de Stichting 'Hoeksche Waard op de Kaart', hebben samen met landbouw- en bodemwetenschappers bepaald wat voor hen duurzaam bodembeheer inhoudt als onderdeel van duurzame landbouw in een duurzaam landschap. Diezelfde wetenschap draagt vervolgens gegevens aan, op basis waarvan de boeren het duurzaam bodembeheer gestalte kunnen geven in de praktijk. Concreete maatregelen die hieruit voortvloeien zijn bijvoorbeeld vermindering van de wieldruk van werktuigen, om bodemverdichting tegen te gaan, ontwatering en ook bewatering via ondergrondse buizen (sub-irrigatie), en beheer van organische stof in de bodem, voor voeding van het bodemleven. Deze en andere maatregelen passeren ook de revue in het hoofdstuk 'Bodemverbeterende landbouw'.

De wetenschap speelt in dit alles vooral de rol van 'makelaar', die informatie en kennis ontwikkelt en aandraagt. Boeren en andere beheerders van het landschap wordt niet voorgeschreven wat zij moeten doen. Een keuze voor duurzame landbouw in een duurzaam landschap is immers de keuze van de akkerbouwers zelf! Maar met extra informatie wordt wel hun beslissingsruimte vergroot, zodat zij betere afwegingen kunnen maken. Dat de wetenschap(per) de eigen expliciete of impliciete waarden daarbij niet laat prevaleren boven die van de gebruikers van kennis, is hiervan een onlosmakelijk onderdeel.

Dat wil natuurlijk niet zeggen dat de rol van de bodemwetenschap hiertoe beperkt blijft. Daarmee zouden we vergeten waar elke vorm van toegepaste wetenschap mee begint: het verkennen van 'onbe-

treden grond' op basis van verwondering over wat we waarnemen en de wil om te doorgronden wat het inhoudt. Daarbij bewijst de bodem ons 'culturele diensten'. Het hoofdstuk 'De vingerafdruk van de bodem' is daar een goed voorbeeld van. En reken maar dat uit die nieuwsgierigheid nieuwe toepassingen zullen voortkomen. Enkele opwekkende voorbeelden zien we daarvan in het hoofdstuk 'Tech uit de Bodem'.

De bodem blijkt eens te meer grond voor inspiratie!

*Prof. Lijbert Brussaard*

# Nadere informatie

## Multimedia

In deze film vertellen akkerbouwers uit de Hoekse Waard wat voor hen het belang is van een gezonde bodem: <http://www.wur.nl/lijbertbrussaard>

In het Jaar van de Bodem (2015) maakte de Voedsel- en Landbouworganisatie van de VN (FAO) dit goede overzicht van het belang van de bodem: <https://www.youtube.com/watch?v=CZNaNlXMXk4>

Het Global Soil Forum (IASS) maakte ook een mooi overzicht: <https://www.youtube.com/watch?v=oa5Rga1Qwyc&list=PLUpoMPJM7Ft2cI454Pb1-TCdl2ceVSj2Z&index=11>

Deze timelapse-opnames van de afbraak van plantenresten op en in de bodem brengen twee maanden terug tot één minuut: <https://www.youtube.com/watch?v=ECh52Nt8WXc&nohtml5=False> en <https://www.youtube.com/watch?v=n3wsUYg3XVo>

De groei van plantenwortels; een week in één minuut: <https://www.youtube.com/watch?v=eoQsKOtsOoo&nohtml5=False>

Het Soilmuseum in Wageningen laat onder andere via bodemprofielen de enorme variatie in bodems over de wereld zien: <http://www.isric.org/services/world-soil-museum>

In de *Global Soil Biodiversity Atlas* staan biodiversiteit en bedreigingen van de bodem beschreven. <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas>

## Inleiding

Commissie van de Europese Gemeenschappen (2006). *Voorstel voor een Bodemrichtlijn*: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006PC0232&from=EN>

PBL (2016), *Natuurlijk Kapitaal: naar waarde geschat*. Planbureau voor de Leefomgeving. Den Haag. [http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL\\_2016\\_Natuurlijk%20kapitaal\\_1455.pdf](http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2016_Natuurlijk%20kapitaal_1455.pdf)

## Hoofdstuk 1

Twee belangrijke recente artikelen over Terra Preta: A. M. G. A. Winkler Prins. *Terra Preta – the mysterious soils of the Amazon* [http://advanced.jhu.edu/wp-content/uploads/2014/06/Terra-Preta\\_WinklerPrins\\_ch18.pdf](http://advanced.jhu.edu/wp-content/uploads/2014/06/Terra-Preta_WinklerPrins_ch18.pdf) en C. R. Clement et al., *The domestication of Amazonia before European conquest* <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/282/1812/20150813>

De website van het onderzoeksprogramma van Wageningen University & Research ([www.terrapretaprogram.org](http://www.terrapretaprogram.org)) bevat aanvullende informatie, die regelmatig geactualiseerd wordt.

## Hoofdstuk 3

Lahr, J., & J. J. C. van der Pol (2007) *Mestfauna en duurzame landbouw. Belangrijkste groepen dieren, levenswijze & ecologische diensten*. Rapport nr. 1473, Alterra, Wageningen University & Research, 58p.

Lahr, J. et al., (2011) *Ecologische effecten van het ontwormingsmiddel ivermectine*. Vakblad Natuur Bos en Landschap, december 2011: 28-31.

### Hoofdstuk 4

Het werk van Commonland wordt onder andere beschreven in: Ferwerda, W. H. (2015a) *Four Returns, Three Zones, 20 Years: a systemic and practical approach to scale up landscape restoration by businesses and investors to create a restoration industry*. In: Chabay, I., Frick, C.M. and J.F. Helgeson (Eds.): *Land Restoration: Reclaiming Landscapes for a Sustainable Future*. Elsevier, Amsterdam, 560 pp.

### Epiloog

Lerink, P. & Klompe, A. (2016). *HW2O – Back to the Roots. Visie en plan voor een integrale benadering voor duurzaam bodembeheer*. Stichting de Hoeksche Waard op de Kaart, 20 pp. [http://hwodka.nl/images/HW2O\\_verslag\\_160315\\_definitief.pdf](http://hwodka.nl/images/HW2O_verslag_160315_definitief.pdf)  
S.d. Keesstra et al., (2016). *The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals*. SOIL 2: 111–128. <http://www.soil-journal.net/2/111/2016/soil-2-111-2016.pdf>

WRR (2014). *Naar een voedselbeleid*. Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid. Amsterdam University Press, Den Haag/Amsterdam. [http://www.wrr.nl/fileadmin/nl/publicaties/PDF-Rapporten/WRR\\_rapport\\_93\\_Naar\\_een\\_voedselbeleid\\_web.pdf](http://www.wrr.nl/fileadmin/nl/publicaties/PDF-Rapporten/WRR_rapport_93_Naar_een_voedselbeleid_web.pdf)

Professor Thom Kuyper (hoofdstuk 1) is persoonlijk hoogleraar Ecologie en Diversiteit van Schimmels bij de Sectie Bodemkwaliteit van Wageningen University & Research.

Professor Matty Berg (box 1) is bijzonder hoogleraar Bodemfauna en Natuurlijke Ecosysteemdynamiek aan de afdeling Ecologische Wetenschappen van de Vrije Universiteit in Amsterdam en het Groningen Institute for Ecological Life Sciences van de Rijksuniversiteit Groningen.

Ir. Wijnand Sukkel (hoofdstuk 2) is onderzoeker bij Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (Wageningen University & Research) in Lelystad.

Dr. Mirjam Pulleman (hoofdstuk 2) is senior onderzoeker bij de sectie Bodemkwaliteit van Wageningen University & Research.

Erwin Westers (box 2) runt samen met zijn ouders de Maatschap Westers op akkerbouwbedrijf 'De Horaholm' in Hornhuizen.

Professor Wietse de Boer (hoofdstuk 3) is buitengewoon hoogleraar Microbiële Bodemecologie bij de Sectie Bodemkwaliteit van Wageningen University & Research en senior onderzoeker bij de afdeling Microbiële Ecologie van het Nederlands Instituut voor Ecologie, NIOO-KNAW in Wageningen.

Dr. Joost Lahr (hoofdstuk 3) is ecotoxicoloog bij Alterra (Wageningen University & Research) in Wageningen.

Dr. Aad Termorshuizen (box 3) is onderzoeker bij SoilCares in Wageningen.

Professor Edith Lammerts van Bueren (box 3) is bijzonder hoogleraar Biologische Plantenveredeling bij Wageningen University & Research en senior onderzoeker bij het Louis Bolk Instituut in Driebergen.

Dr. Simon Moolenaar (hoofdstuk 4) werkt bij de NGO Commonland.

Drs. Danielle de Nie (hoofdstuk 4) werkt bij de NGO Commonland.

Dr. Esther Veen (box 4) is universitair docent bij de leerstoelgroep Rurale Sociologie van Wageningen University & Research.

Professor Hans van Veen (hoofdstuk 5) is emeritus hoogleraar Microbiële Ecologie van de Bodem aan de Universiteit Leiden en de afdeling Microbiële Ecologie van het Nederlands Instituut voor Ecologie, NIOO-KNAW in Wageningen.

Dr. Martijn Bezemer (box 5) is onderzoeker bij de afdeling Terrestrische Ecologie van het Nederlands Instituut voor Ecologie, NIOO-KNAW in Wageningen.

Dr. Tim Grotenhuis (hoofdstuk 6) is universitair hoofddocent bij de sectie Milieutechnologie van Wageningen University & Research.

Professor Gilles van Wezel (hoofdstuk 6) is hoogleraar Moleculaire Biotechnologie aan de Universiteit Leiden.

Dr. Marjolein Helder (hoofdstuk 6) is mede-oprichter en directeur van Plant-e in Wageningen.

Ir. Janjo de Haan (box 6) is projectleider 'Bodem Water en Bemesting' bij Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (Wageningen University & Research) in Lelystad.

Professor Lijbert Brussaard (inleiding, epiloog en redactie) is hoogleraar Bodembioologie en Biologische Bodemkwaliteit bij Wageningen University & Research.

Professor Francine Govers (redactie) is persoonlijk hoogleraar Moleculaire Fytopathologie bij Wageningen University & Research en bestuurslid van de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij.

Ir. Rob Buijter (interviews en eindredactie) is freelance wetenschapsjournalist in Heemstede.

# Illustratieverantwoording

Beeldresearch: B en U, Amsterdam

cover: Ned M. Seidler / National Geographic  
Creative

NWO / Monique van Zeijl: p. 3

Wageningen UR (University & Research centre):  
p. 4, 67

PBL, WUR, CICES (2014): p. 5

Imageselect, Wassenaar: p. 6, 13, 15, 45, 60, 63, 64

Ter beschikking gesteld door William Woods: p. 8 l

Wikimedia: p. 8 r

J. Lehman / Cornell University: p. 9

© Wageningen UR / Wageningen World: p. 10

Dreamstime: p. 11, 48, 49, 62

iStockphoto: p. 14

K. Makarov (GSBA): p. 17

V. Gutekunst (GSBA): p. 18 b

M. Hedin (GSBA): p. 18 mb

A. Murray (GSBA): p. 18 mo

S. Franzenburg (GSBA): p. 18 o

J. Baker (WUR): p. 19 b

D. Heard (GSBA): p. 19 mb

Shutterstock: p. 19 mo, 19 o, 24, 46, 70

Hollandse Hoogte, Den Haag: p. 20, 72 b, 75

Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Nijmegen: p. 23,  
24, 65, 72 o

P. Lavelle (IRD): p. 26

Niels van der Boom / Agrifoto.nl: p. 27

Manuel Wopfner / Fraunhofer IPA /  
Agri apps: p. 28

W. Cong (WUR): p. 30

J.A.M. Groten (WUR): p. 33

R. Buiten, Heemstede: p. 35, 59, 69

Picture-Alliance, Frankfurt: p. 36

Francine Govers (WUR): p. 38

L. Brussaard (WUR): p. 39

A.P.D. Picard (GSBA): p. 40

H.A.G. Verstegen (WUR): p. 41

123RF: p. 42, 44, 74, 76

Joost Lahr: p. 43

Commonland, Amsterdam: p. 50, 54, 56 b, 56 lo,  
56 ro, 57 l, 57 r

Getty images: p. 53

RIVM / PBL (2014): p. 73

Plant-e, Wageningen: p. 77, 78

Janjo de Haan (WUR): p. 81

Keesstra et al. (2016) bewerkt door Sittrop Grafisch  
Realisatiebureau, Nijmegen: p. 83

Stichting Biowetenschappen en Maatschappij  
werkt samen met:

Dit cahier is mede tot stand gekomen door:



## In dit nummer:

- › **Amazone: bakermat van zwarte aarde**
- › **Bodem verbeteren door landbouw**
- › **Hoe de bodem ziekten weert**
- › **Economisch herstel door betere bodem**
- › **De genetische vingerafdruk van de grond**
- › **Technologie uit de bodem**

### Redactie:

Lijbert Brussaard

Francine Govers

Rob Buiters (eindredactie)

Met een voorwoord van Cees Veerman

**Biowetenschappen  
en Maatschappij**

De bodem is niet alleen letterlijk de grond onder ons bestaan, ze is dat ook figuurlijk. Vruchtbare bodems leveren ons bijvoorbeeld voedsel, water en grondstoffen, maar ook een heel scala aan andere ecosysteemdiensten.

In één theelepel zwarte grond leven meer organismen dan er mensen zijn op de hele aarde. Ze zorgen ervoor dat planten gebruik kunnen maken van de voedingsstoffen in de bodem en in een gezonde bodem krijgen ziekteverwekkers ook minder kans. Nu we steeds beter begrijpen hoe ze dat doen, kunnen wij zelfs nieuwe antibiotica vinden in de bodem!

Ondanks al die diensten die de bodem ons levert, springen we er vrij roekeloos mee om. Een groot deel van alle bodems op aarde is inmiddels teloor gegaan en nog ieder jaar komt daar een flink gebied bij!

In dit cahier laten wetenschappers van naam op het gebied van het bodemonderzoek niet alleen zien welke diensten een gezonde bodem al vele eeuwen levert. Ze vertellen ook hoe de figuurlijke bodem onder ons bestaan tegelijk grond voor inspiratie is voor voedsel en technologie voor de toekomst.

