

1.1 GEWASBESCHERMING EN BODEMKWALITEIT

1.1.1 Keynote Kijken in ondoorzichtige grond - Structuureigenschappen van de bodem ter evaluatie van de dynamiek van bodempathogenen

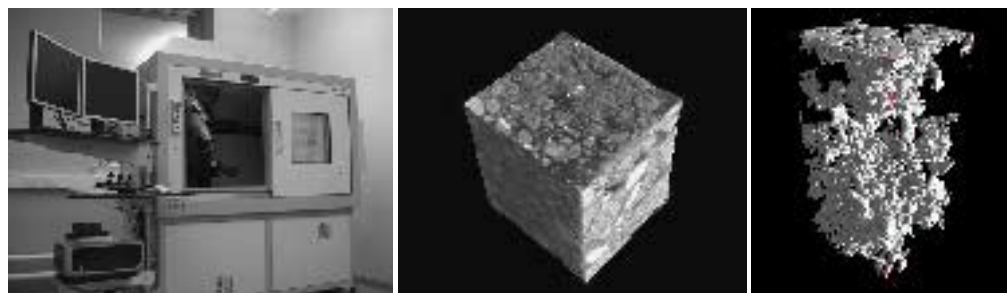
Wilfred Otten, Dmitri Grinev, Ruth Falconer en Iain Young

SIMBIOS Centre, University of Abertay Dundee, Bell Street, Dundee DD1 1HG UK; e-mail: w.otten@abertay.ac.uk; web-pagina: <http://simbios.abertay.ac.uk>

Bodemkwaliteit is van onschatbare waarde voor een gezonde teelt. Omdat het moeilijk is om hier een financiële waarde aan te koppelen worden deze diensten veelal ondergewaardeerd. Voorzichtige schattingen hebben echter aangegeven dat aan de natuurlijke ziekteonderdrukking van gronden een prijskaartje van \$0,4 triljoen gehangen kan worden. Het is daarom duidelijk dat het handhaven van goede bodemkwaliteit noodzakelijk is voor een duurzame teelt. Aangezien micro-organismen ten grondslag liggen aan veel bodemfuncties is een betere kennis over hoe dit bodemleven gemanipuleerd kan worden van groot belang.

Bodem is het meest gecompliceerde 'biologische materiaal' op de aarde. Heterogeniteit en diversiteit zijn waarschijnlijk betere karakteristieken van een grond dan gemiddelde waarden die we meestal gebruiken. Zo zijn de meesten van ons bekend met de rijkdom aan bodemleven, uitgedrukt in hoeveelheid sporen per gram grond; veel minder goed realiseren we ons dat dit rijke bodemleven slechts een klein deel van de bodemoppervlakte bestrijkt. Dit heeft grote gevolgen voor de interacties die in de grond plaats vinden en voor de manier waarop we pathogenen kunnen bestrijden.

Een goede bodemstructuur ligt aan de basis van een goed bodemleven. De structuur bepaalt de waterhuishouding, de luchthuishouding, de afbraak van organische stof, de aanlevering van voedingsstoffen, en de verspreiding en overleving van bodempathogenen. Wat precies bedoeld wordt met een goede structuur is echter minder duidelijk en de beschikbare technieken werkten tot nog toe veelal op een ruimtelijke schaal (cm-dm) die niet van toepassing is op bodemleven (veelal micrometers). Met de recente opmars van technieken in de bodemkunde zoals 'X-ray CT' is het nu mogelijk om de inwendige structuur van gronden of substraten te bekijken (Figuur 1). Met behulp van video's zal ik laten zien hoe gronden er inwendig uit zien en kunt u zelf ervaren hoe moeilijk het kan zijn voor pathogenen om zich een weg door de grond te banen. Tenslotte zal ik als voorbeeld laten zien hoe fysische eigenschappen van gronden de verspreiding van *Rhizoctonia solani* kunnen beïnvloeden, met grote gevolgen voor de dynamiek en bestrijding van bodempathogenen.



Figuur 1.
Kijken in de grond: met nieuwe X-ray-apparatuur (links) is het mogelijk om de inwendige structuur van gronden

(midden) te bekijken. Verdere analyse maakt het dan mogelijk om de poriënstructuur waarin water, nutriënten en pathogenen zich bevinden bloot te leggen met een maximale resolutie van 4 micrometer (rechts).

1.1.2 Het gebruik van DNA- barcodes voor de routinematige analyse van nematodengemeenschappen als indicator voor biologische bodemkwaliteit

Hans Helder, Sven van den Elsen, Paul Mooyman, Katarzyna Rybarczyk, Rikus Pomp, Martijn Holterman, Hanny van Megen, Tom Bongers en Jaap Bakker

Wageningen Universiteit, Departement
Plantenwetenschappen, Laboratorium voor Nematologie
Binnenhaven 5, 6709 PD Wageningen

Afhankelijk van het bodemgebruik kan het begrip bodemkwaliteit verschillende betekenissen hebben. Hier beperken we het begrip bodemkwaliteit tot de eigenschappen van een bodem die een gezonde gewasgroei mogelijk maken. Dit valt grofweg uiteen in fysische, chemische en biologische bodemkwaliteit. In het kader van de gewasbescherming is de biologische bodemkwaliteit wellicht het meest relevant. De definitie van biologische bodemkwaliteit wordt bemoeilijkt door de overweldigende biodiversiteit: één gram grond van een 'gemiddelde' bodem bevat zo'n 5.000 tot 15.000 verschillende organismen (!). Van het overgrote deel van deze organismen (veelal bacteriën) kennen we de ecologie niet, en we hebben dus (vooralsnog) geen benul over de mate waarin deze organismen bijdragen aan de biologische bodemkwaliteit. Als we hierover toch zinnige uitspraken willen doen lijkt het logisch te kiezen voor een zo representatief mogelijke groep organismen met een centrale positie in het bodemvoedselweb.

Nematoden (aaltjes) komen in zeer groten getale voor in de bodem (waarschijnlijk is het de meest talrijke diergroep op aarde) en vanwege hun (trofische) diversiteit – ze voeden zich op bacteriën, protozoën, schimmels, andere nematoden of (als pathogeen) op planten – weerspiegelen ze ook de toestand van bijvoorbeeld de bacterie- en de schimmelgemeenschap. Daarnaast vertonen nematoden een breed scala aan reacties op bodemverstoringen (van ploegen en bemesten tot vervuiling

met bijvoorbeeld zware metalen) (Bongers, 1990). Samen met het gegeven dat er relatief veel bekend is over de ecologie van verreweg de meeste soorten maakt dit dat deze groep in principe bruikbaar is als indicator voor de bodemgezondheid. Als we de samenstelling van een nematodengemeenschap kennen, kunnen we uitspraken doen over de biologische gezondheid van die bodem zowel in positieve – komen er soorten voor waarvan we weten dat ze stressgevoelig zijn? – als in negatieve zin – hoe staat het met de aanwezigheid van plantenparasitaire aaltjes?

Als dit allemaal waar is, zou je je af kunnen vragen waarom er niet veel meer naar nematodengemeenschappen gekeken wordt. De voornaamste reden is dat nematoden sterk op elkaar lijken; analyse van nematodengemeenschappen is tijdrovend en vereist zeer specialistische kennis. Als we werkelijk robuuste uitspraken willen doen zullen monsters met tienduizenden nematoden geanalyseerd moeten worden (in plaats van de eerste 150 individuen zoals dat nu voor bodemkwaliteitsbepalingen gedaan wordt) en dat is volstrekt ondoenlijk met de huidige analyse-methodieken.

Om te zien of DNA-*barcoding* – het identificeren van organismen aan de hand van kenmerkende stukjes DNA – een levensvatbaar alternatief is, heeft het Laboratorium voor Nematologie de afgelopen vijf jaar een bepaald stuk ribosomaal DNA (rDNA) gesequenced voor een groot deel van de Nederlandse nematodenfauna (Holterman et al., 2006). Op dit moment (voorjaar 2008) omvat de DNA database 1.600 sequenties van ongeveer 1.200 nematodensoorten. Hierbij kwam naar voren dat het rDNA van nematoden zeer bruikbaar is voor identificatie; vrijwel elke aaltjessoort bezit een unieke DNA-code en door deze DNA-code middels kwantitatieve PCR af te lezen kan worden bepaald welke soorten er in welke aantallen in de bodem voorkomen (Holterman et al., 2008). Het blijkt routinematig mogelijk om één enkele parasitaire nematode te identificeren in een bodemmonster met tienduizenden aaltjes. In Nederland worden sinds drie jaar routinematige, op DNA-*barcode* gebaseerde analyses op de aanwezigheid van stengelaaltjes, en (recent) wortelknobbelaaltjes en cystenaaltjes gedaan door Blgg Wageningen. Voor wat betreft de analyse van nematodengemeenschappen als indicator voor biologische bodemkwaliteit worden deze zomer de eerste veldtesten gedaan waarbij parallel 21 vrijlevende nemato-

denfamilies kwantitatief worden gedetecteerd. Bij deze gemeenschapsanalyses wordt voortgeborduurd op de *Maturity Index* (Bongers, 1990) en het testen ervan vindt plaats in samenwerking met Bioclear BV (Groningen), Blgg BV (Wageningen), WU - sectie Bodemkwaliteit, en RIVM - sectie Ecologische Risico Analyse.

Referenties

- Bongers, A.M.T., 1990. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbances based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Holterman, M., Wurff, A. van der, Elsen S. van den, Megen H. van, Bongers T., Holovachov O., Bakker J. & Helder J., 2006. Phylum wide analysis of SSU rDNA reveals deep phylogenetic relationships among nematodes and accelerated evolution toward crown clades. *Molecular Biology and Evolution* 23(9): 1792 - 1800.
- Holterman, M.H.M., Rybarczyk, K.D., Megen, H.H.B. van, Mooijman, P.J.W., Santiago, R.P., Bongers, A.M.T., Bakker, J. & Helder, J., 2008. A ribosomal DNA-based framework for the detection and quantification of stress-sensitive nematode families in terrestrial habitats. *Molecular Ecology Resources* 8: 23 - 34.

1.1.3 Biofumigatie als nieuwe biologische beheersmethode?

Johnny Visser¹, Gerard Korthals¹ en Gera van Os²

¹ Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad

² Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lisse

Bodemgebonden ziekteverwekkers als schimmels en aaltjes kunnen aanzienlijke schade veroorzaken. Een goed doordachte vruchtwisseling is de basis om deze bodemziekten te beheersen, eventueel met aanvullende maatregelen als chemie of alternatieve (biologische) beheersmaatregelen. Tagetes (afrikaantje) wordt bijvoorbeeld gezaaid ter bestrijding van het wortellesie-aaltje en bladrammenas of gele mosterd als vanggewas voor bietencystenaaltjes. Mogelijk komt daar een biologisch alternatief bij: biofumigatie.

Biofumigatie

Onder biofumigatie wordt verstaan: het in de grond werken van gewassen (of gewasresten) waarbij (vooral) gasvormige stoffen worden gevormd die een dodende werking hebben op bodemziekten- en plagen. Vooral kruisbloemige (kool)gewassen zijn voor biofumigatie geschikt. Een groot aantal van deze gewassen bevatten namelijk vrij hoge gehalten glucosinolaten. Deze glucosinolaten liggen opgeslagen in plantencellen en zijn in deze vorm niet toxisch. Bij het fijnhakselen van deze gewassen gaan plan-

tencellen kapot en komen de glucosinolaten vrij. Het enzym myrosinase zet deze vervolgens om in isothiocyanaten. Deze gasvormige stoffen, die verwant zijn aan de actieve stof van het chemische grondontsmettingsmiddel metamnatrium, zijn giftig voor verschillende insecten, bodemschimmels en aaltjes.

Behalve koolachtige gewassen zijn ook andere plantensoorten geschikt voor biofumigatie. Een daarvan is soedangras, dat boomtelers wel inzetten als grondontsmetter. Bij de vertering van dat gewas komen giftige, blauwzuurachtige verbindingen vrij.

Bij de meeste kruisbloemigen is het gehalte aan glucosinolaten het hoogst tijdens de bloeifase, zo'n zes tot acht weken nadat is gezaaid. Het biofumigatiegewas moet op dat moment goed worden verhakseld en vervolgens snel worden ingewerkt. Door het zeer fijn verhakselen kan een snelle omzetting plaatsvinden, waardoor in korte tijd een hoge concentratie aan giftige gassen kan ontstaan. De grond dichtrollen en zo mogelijk beregenen beperkt het ontsnappen van het gas uit de bodem.

Positieve en negatieve effecten

Een biofumigatiegewas heeft voor een deel ook de positieve effecten van een groenbemester. Het verbetert het organische-stofgehalte en de bodemstructuur, voorkomt stuif/erosie, stimuleert het positieve bodemleven en kan dienen als lokgewas voor bepaalde aaltjessoorten (bladrammenas en gele mosterd voor bietencystenaaltjes).

Evenals groenbemers kan een biofumigatiegewas echter het schadelijke bodemleven ook juist stimuleren, doordat schadelijke aaltjes en schimmels zich erop vermeerden. Soedangras bijvoorbeeld, is een zeer goede waard voor wortellesie-aaltjes. Het risico is groot dat het dodelijke effect van de blauwzuurachtige gassen onvoldoende is om de sterke vermeerdering van aaltjes tijdens de teelt teniet te doen. Het is dus oppassen dat bij de bestrijding van het ene probleem niet een ander probleem wordt gecreëerd.

Nog veel vragen

Veel onderzoek aan biofumigatiegewassen is uitgevoerd in laboratoria of in kassen. Resultaten, die voornamelijk vanuit het buitenland worden gemeld, zijn wisselend en de ervaring met praktijk (veld) -proeven zijn, zeker in Nederland, nog zeer beperkt. Veel zaken zijn ook nog onduidelijk. Welke gewassen zijn het meest

effectief? Wanneer en hoe zijn ze te telen? Hoe moeten ze worden ingewerkt? Wat is het effect van (bodem)temperatuur en grondsoort en hoe is een biofumigatiegewas in te passen in het teeltplan? Daarnaast spelen kosten en betrouwbaarheid een belangrijke rol. Of biofumigatiegewassen toekomst hebben, is echter allereerst afhankelijk van de mate waarin ze schadelijke bodemorganismen daadwerkelijk bestrijden.

Onderzoek

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijkheden van biofumigatie is op PPO Vredepeel een groot screeningsonderzoek gestart. In dit veldonderzoek wordt het effect van een groot aantal biofumigatiegewassen op de bestrijding van wortellesie-aaltjes (*Pratylenchus penetrans*) en de bodemschimmel *Verticillium dahliae* onderzocht. In de vergelijking liggen chemische en biologische grondontsmetting en Tagetes. Op een met wortellesie-aaltjes besmet perceel zijn tussen half juni en eind juli de verschillende biofumigatiegewassen gezaaid. Begin september, het moment waarop de (meeste) gewassen in bloei stonden, zijn de gewassen geklepeld en bouwvoordiep ingewerkt. Voorafgaand aan het zaaien en kort voor het klepelen is de aaltjesbesmetting bepaald om de waardplantgeschiktheid van de gewassen voor wortellesie-aaltjes vast te stellen. Om het effect van het inwerken op de aaltjesbesmetting te bepalen, volgt in het voorjaar nogmaals een grondbemonstering en daarna een aardappelteelt met het ras Première. Dit toetsras is gevoelig voor wortellesie-aaltjes en *V. dahliae*.

Binnenkort zullen de eerste resultaten van dit onderzoek beschikbaar komen. Ze geven een eerste indruk van de perspectieven. Daarnaast zijn veredelingsbedrijven actief om nieuwe gewassen en rassen te ontwikkelen. Bovendien zijn er ontwikkelingen te verwachten om de teelt en mogelijk ook het inwerken van biofumigatiegewassen verder te verbeteren. Kortom, de toekomst zal leren hoe perspectiefvol de methode van biofumigatie daadwerkelijk is.

1.1.4 De kwaliteit van de bodem in de land- en tuinbouw en Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit

Michiel Rutgers¹, Christian Mulder¹, Jaap Bloem² en Ton Schouten¹

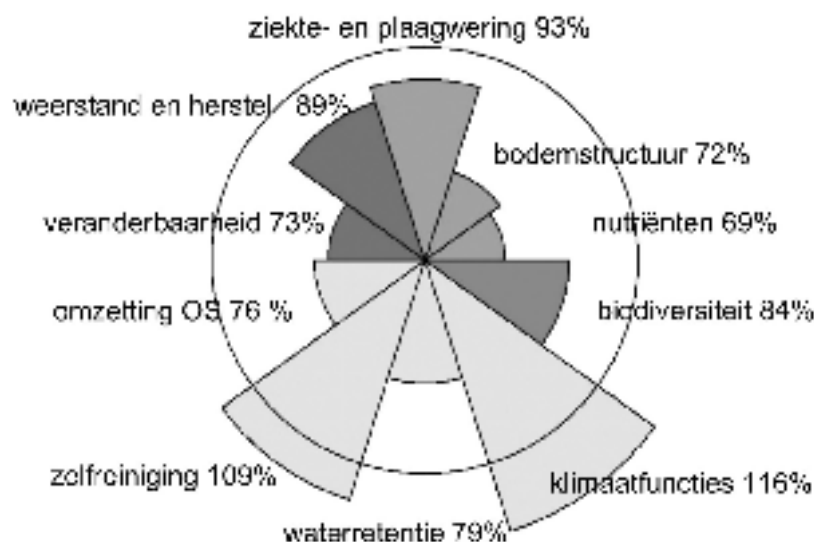
¹Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; e-mail: michiel.rutgers@rivm.nl

²Alterra

De bodem is een belangrijk onderdeel van het bedrijfssysteem in de land- en tuinbouw. De ministers van LNV en VROM en LTO-Nederland kondigden een transitie aan: het bodemgebruik moet duurzamer worden. Negatieve effecten van het bodembeheer mogen niet afgewenteld worden op anderen of naar een later tijdstip. De bodem moet langdurig in staat zijn om diensten te leveren aan de bodemgebruikers en de maatschappij.

Voor de beoordeling van de kwaliteit van de bodem en de duurzaamheid van het bodemgebruik zijn maatlatten en meetsystemen nodig (Bodem+, 2006; TCB 2003, 2005). Deze maatlatten en meetsystemen zijn in ontwikkeling (Rutgers *et al.*, 2005, 2007a, 2007b). Een onderdeel van de maatlat betreft de Referentie voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB). De referentie beschrijft een bodem die, volgens de huidige inzichten, een goede kwaliteit heeft naar biologische, chemische en fysische maatstaven.

Het RIVM heeft samen met andere kennisinstututen tien referenties voor een goede biologische bodemkwaliteit afgeleid. De referenties zijn specifiek voor tien combinaties van bodemgebruik (bijvoorbeeld melkveehouderij, akkerbouw, heide) en grondsoort (zand, veen, klei, löss). De gegevens over de toestand van de bodem zijn afkomstig van de abiotische en biologische monitoring in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Onderzoekers met een verschillende achtergrond selecteerden locaties die volgens hun maatstaven en op basis van de beschikbare gegevens van de monitoring een bodem hebben met een relatief goede kwaliteit. Deze selecties werden gecombineerd tot referenties. De referenties zijn een onderdeel van het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik.



Figuur 1. Amoebe-figuur met de prestaties van tien ecosysteemdiensten van de bodem in de Hoeksche Waard. Het RIVM, WUR en LTO hebben gezamenlijk onderzoek gedaan op vier FAB-bedrijven. Diverse biologische, chemische en fysische parameters werden geanalyseerd. Het gemiddelde resultaat van een subset van parameters werd gebruikt als indicator voor de ecologische diensten. De prestaties zijn uitgedrukt ten opzichte van de landelijke Referentie voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB; de cirkel op 100%).

De toepassing van een referentie werd in de praktijk uitgetest bij vier akkerbouwbedrijven in de Hoeksche Waard (Zuid Holland; Rutgers *et al.*, 2007a). De prestaties van de ecosysteemdiensten van de bodem onder de bedrijven werden gemeten en in verband gebracht met het landelijke beeld en specifieke aspecten van de bedrijfsvoering. De prestaties van twee ecosysteemdiensten lagen hoger dan het landelijke gemiddelde (het zelfreinigende vermogen en de klimaatfuncties van de bodem; Figuur 1). De andere ecosysteemdiensten presteerden minder (o.a. bodemstructuur en nutriëntenhuishouding; Figuur 1). Verschillen in prestaties van ecosysteemdiensten tussen de vier bedrijven waren plausibel te herleiden tot de specifieke bedrijfsvoering: gangbaar, grootschalig of biologisch.

De Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit kunnen gebruikt worden om de bodemkwaliteit en de duurzaamheid van het bodemgebruik te meten. Het bedrijfssysteem heeft invloed op het presteren van de ecosysteemdiensten. Met analyses van de wetenschappelijke en grijze literatuur over bodembeheer in de land- en tuinbouw en specifiek vervolgonderzoek worden de mogelijkheden om de prestaties van de ecosysteemdiensten te beïnvloeden verder uitgewerkt. In de nabije toekomst ontstaat een compleet raamwerk met indicatoren en maatlatten en sets van maatregelen voor duurzaam bodemgebruik.

Referenties

- Bodem+, 2006. Duurzaam bodemgebruik in de landbouw, een beoordeling van agrarisch bodemgebruik in Nederland. Den Haag, 82 pp.
- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., Bogte, J.J., Breure, A.M., Bloem, J., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Faber, J.H., Van Eekeren, N., Smeding, F.W., Keidel, H., De Goede, R.G.M., Brussaard, L.,

2005. Typeringen van bodemecosystemen - Duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit. Rapport 607604007, RIVM, Bilthoven, 105 pp.

Rutgers, M., Kuiten, A.M.P., Brussaard, L., 2007a. Prestaties van de bodem in de Hoeksche Waard: nulmeting en toepassing van een referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB). Rapport 607020001, RIVM, Bilthoven, 42 pp.

Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., Bloem, J., Bogte, J.J., Breure, A.M., Brussaard, L., De Goede, R.G.M., Faber, J.H., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Keidel, H., Korthals, G., Smeding, F.W., Ter Berg, C., Van Eekeren, N., 2007b. Typeringen van bodemecosysteem in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. Rapport 607604008, RIVM, Bilthoven, 96 pp.

TCB, 2003. Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag. Rapport TCB A33(2003), Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag, 70 pp.

TCB, 2005. Advies duurzamer bodemgebruik in de landbouw. Rapport TCB A36(2005), Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag, 82 pp.

1.1.5

Microbiële kenmerken voor gezonde bodems

Leo van Overbeek, Ulisses Nunes en Ilya Senechkin

Plant Research International, Wageningen,
Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen; tel. 0317-480606, e-mail: l.s.vanoverbeek@wur.nl

Gezonde bodems zijn bodems waarop planten kunnen groeien met minimale aantasting door schadelijke organismen, zonder gebruikmaking van chemische bestrijdingsmiddelen. Bodemgezondheid is verschillend voor iedere gewas-pathogeen/plaagcombinatie, bodemsoort en bodemgebruik. Het mechanisme van bodemgezondheid is grotendeels onbekend, maar wel is

duidelijk dat de rol van bodemmicro-organismen cruciaal is. Deze rol is vaak niet eenduidig en zeer complex. Microbiële functies die in verband worden gebracht met bodemgezondheid zijn: 1) onderdrukking van schadeveroorzakende organismen, 2) plantversterking en 3) het beschikbaar maken van nutriënten voor plantengroei. Methoden waarmee bodemgezondheid kan worden voorspeld zijn belangrijk voor de duurzame teelt van landbouwgewassen. Het doel van ons onderzoek is opheldering van microbiële processen die een belangrijke rol spelen bij bodemgezondheid en op basis waarvan nieuwe technieken kunnen worden ontwikkeld waarmee bodemgezondheid wordt voorspeld.

In ons onderzoek wordt verondersteld dat de belangrijkste microbiële processen voor plantengroei zich zullen afspelen nabij, of zelfs in de plant. Plantenwortels scheiden tijdens groei stoffen uit waardoor bodemmicro-organismen worden aangetrokken en geactiveerd. Wortel-exsudatie is een belangrijk instrument van planten om microbiële populaties in hun omgeving te 'sturen'. Microbiële analyses van populaties in de plant (endosfeer) en rondom plantenwortels (rhizosfeer) worden vaak uitgevoerd door het kweken van micro-organismen. Diverse isolaten zijn verkregen uit de rhizosfeer en endosfeer van verschillende gewassen die een belangrijke rol spelen bij ziektevering. Eén van deze isolaten is de endofytische antagonist P9 (*Pseudomonas putida*), die een onderdrukkende werking heeft op *Phytophthora infestans*. Isolaten die behoren tot de groep van *Lysobacter*-soorten zijn verkregen uit rhizosfeergrond en vertoonden antagonistische werking tegen *Rhizoctonia solani* en *Ralstonia solanacearum*. De *Lysobacter*-groep is een relatief onbekende groep van antagonisten die mogelijk een belangrijke rol speelt in ziektevering. Nieuwe, niet eerder geïdentificeerde isolaten zijn verkregen uit rhizosfeergrond met behulp van verbeterde kweektechnieken. Hierbij zijn o.a. isolaten verkregen uit de groepen van *Verrucomicrobia* en *Acidobacterium*. Beide soorten zijn dominant in grond, maar tot op heden werd aangenomen dat deze soorten niet kweekbaar waren. Door isolatie is het mogelijk om hun ecologische rol in de rhizosfeer en endosfeer te onderzoeken. Het overgrote deel van de micro-organismen in bodems en planten is moeilijk, of zelfs niet kweekbaar. Met behulp van moleculaire technieken is het mogelijk om micro-organismen te detecteren zonder voorafgaande kweek. Detectietechnieken zijn ontwikkeld op basis van fylogenetische en functionele genen. Moleculaire *fingerprint*-methoden (o.a. PCR-DGGE) met

groep-specifieke primers tegen bacteriën, schimmels, *Pseudomonas*, *Actinobacteria*, *Burkholderia*, *Bacillus* en *Glomus* zijn toegepast om vermoedelijk antagonistische populaties te kunnen volgen tijdens plantengroei. Daarnaast worden toetsen ontwikkeld op basis van functionele genen. Primers en probes worden ontwikkeld voor detectie van sleutelgenen die betrokken zijn bij de N- en S-kringlopen. Via een nieuwe kweekonafhankelijke procedure (metagenomica) wordt gezocht naar nieuwe antibioticumproductiegenen (o.a. polyketidesynthasegenen) en productiegenen van ACC deaminase (omzetting van ethyleen).

De 'state-of-the-art' van microbiële detectietechnologieën in bodem en plant is dat individuele populaties goed kunnen worden gevolgd met combinaties van kweek en moleculaire technieken. Groepen van micro-organismen kunnen worden gevolgd met behulp van moleculaire *fingerprint*-technieken en in combinatie met multivariate analyses kunnen interacties tussen omgevingsfactoren en specifieke populaties worden vastgesteld. Nadeel is echter dat er geen causaal verband wordt aangetoond tussen bodemgezondheidsindicatoren en microbiële functies. Daarvoor zijn (moleculaire) detectiesystemen gericht op functionele genen noodzakelijk. Via diverse moleculaire technieken is het mogelijk om functionele (sleutel) genen kwantitatief in bodem en plantenmonsters te detecteren. Belangrijkste beperkingen zijn echter: 1) onvoldoende kennis over belangrijke microbiële processen in bodem en plant, en 2) hoge detectiegrens (uiterste detectiegrens van PCR is 10^3 - 10^4 genkopieën per grond).

Microbieel ecologisch onderzoek van bodemprocessen die betrokken zijn bij gezonde plantengroei is noodzakelijk. Vooral het vaststellen van sleutelgenen bij betrokken processen is belangrijk voor de ontwikkeling van een 'bodemgezondheidschip'. Technologische verbeteringen zijn noodzakelijk om de detectiegrens in bodem- en plantenmonsters te verlagen. Genen die in een laag kopie-aantal in het genoom van micro-organismen voorkomen kunnen uitsluitend worden gedetecteerd als betrokken micro-organismen in (zeer) hoge dichtheden voorkomen. Voorondersteld mag worden dat niet alle belangrijke processen worden uitgevoerd door populaties die in dergelijk hoge dichtheden voorkomen. Mogelijke doorbraken kunnen worden verwacht op genexpressieniveau (mRNA) en toepassing van multiplex kwantitatieve detectie (o.a. Biotrove platform).