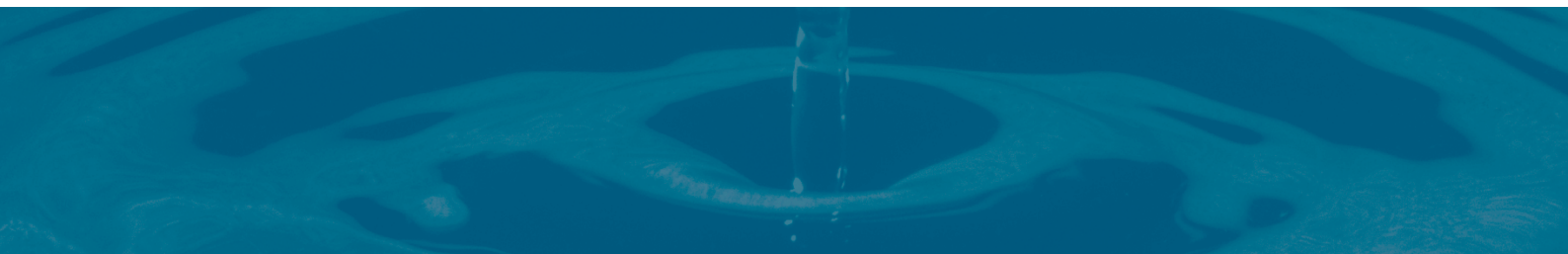


Bodem Vitaal!

Naar het begrijpen en sturen van bodemvitaliteit

Ivonne Elberse, Ernst van den Ende, Leendert Molendijk, Carolien Zijlstra,
Anjo de Jong, Martijn van Wijk, Hans Helder & Piet Boonekamp²





Bodem Vitaal!

Naar het begrijpen en sturen van bodemvitaliteit

Ivonne Elberse¹, Ernst van den Ende¹, Leendert Molendijk¹, Carolien Zijlstra²,
Anjo de Jong³, Martijn van Wijk³, Hans Helder⁴ & Piet Boonekamp²

¹ Praktijkonderzoek Plant & Omgeving

² Plant Research International

³ Alterra

⁴ Wageningen Universiteit

© 2008 Wageningen, Wageningen UR

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 – 48 60 01
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1. Bodemvitaliteit essentieel voor duurzame landbouw en natuurontwikkeling	1
1.1 Het probleem	1
1.2 Schade in land- en tuinbouw	1
1.3 Schade bij natuurontwikkeling	2
1.4 Aansluiting Bodem Vitaal!	2
2. Doel van het programma Bodem Vitaal!	3
3. Technische aanpak en haalbaarheid	5
3.1 De uitdaging	5
3.2 Afbakening	5
4. Cases bodemweerbaarheid	7
4.1 Case 1: Niet gebufferde bodem– bodemweerbaarheid aangetoond – reguliere landbouw	7
4.2 Case 2: Weinig gebufferde bodem – bodemweerbaarheid aangetoond – reguliere landbouw	8
4.3 Case 3: Gebufferde bodem - bodemweerbaarheid aangetoond – biologische landbouw	9
4.4 Case 4: Niet gebufferde bodem in transitie – natuurontwikkeling met reguliere landbouw als startpunt	9
5. Thema's van onderzoek die dwars op deze vier cases worden gezet zijn	11
6. Tijdschema uitvoering onderzoek en kennisverspreiding	13
7. Relatie tussen Bodem Vitaal! en actueel beleid	15
7.1 Nieuwe bodembeleid	15
7.2 Meerjarenprogramma Vitaal Platteland 2007-2013 'SAMEN WERKEN'	15
Bijlage 1. Uitwerking van de doelstelling van het programma Bodem Vitaal!	3 pp.
Bijlage 2. Achtergronden bodemvitaliteit en bodemweerbaarheid	2 pp.
Bijlage 3. Achtergrond technische aanpak & haalbaarheid	3 pp.
Bijlage 4. Dwarsverbanden met een aantal lopende onderzoekprojecten/programma's	2 pp.
Bijlage 5. Mogelijke bijdrage Bodem Vitaal! aan natuurontwikkeling	2 pp.
Bijlage 6. Geciteerde literatuur	2 pp.

1. Bodemvitaliteit essentieel voor duurzame landbouw en natuurontwikkeling

1.1 Het probleem

De tijd dat natuur en landbouw geassocieerd werden met diametraal tegengestelde belangen is voorbij. We zien een ecologisering van de landbouw, wat leidt tot integratie van landbouw in natuurlijke gebieden. Hierdoor ontstaat een aantrekkelijker landschap.

De bodem vormt in beide gevallen letterlijk de (biologisch complexe) basis voor ecologische stabiliteit. De enorme rijkdom aan biodiversiteit en de aantallen organismen bepalen de bodemvitaliteit.

We weten dat bodemvitaliteit essentieel is voor alle plantengroei, maar het is nog een 'black box': we weten namelijk niet goed wát bodemvitaliteit is! Wel weten we dat verstoring van de bodemvitaliteit grote schade kan toebrengen aan zowel land- en tuinbouw, als aan de gewenste natuurontwikkeling in Nederland.

Ook weten we dat bodems de potentie hebben om weerbaar te zijn tegen ziekten en plagen, maar de kennis ontbreekt om hierop gericht te kunnen sturen.

Er is dus kennis nodig om te weten te komen welke organismen van de geweldige complexe biodiversiteit in de bodem verantwoordelijk zijn voor bodemweerbaarheid. Als we weten hoe deze organismen werken, kunnen we stuur- en monitorgereedschappen ontwikkelen, waarmee de bodemweerbaarheid verhoogd wordt. We spreken dan over bodemvitaliteit, een essentiële factor voor duurzame landbouw- en natuurontwikkeling.

1.2 Schade in land- en tuinbouw

De land- en tuinbouw is voor de economie van Nederland van groot belang. De positie van Nederland als vooraanstaande handelsnatie is voor een belangrijk deel gebaseerd op invoer, productie, verwerking en export van agrarische producten. Het Nederlandse handelsoverschot (31 miljard euro in 2007) komt voor 73% voor rekening van de agrarische handel. De primaire land- en tuinbouwproductie, de toeleverende, de verwerkende industrieën en de handel en distributie zijn bij elkaar goed voor 10% van het totale bruto nationaal product en voor één op de tien arbeidsplaatsen. Het meeste geld wordt verdiend in de toeleverende en verwerkende industrie en in de handel en distributie van levensmiddelen. De primaire productie is goed voor zo'n 20% van de toegevoegde waarde aan de hele keten.

De kwaliteit van de geteelde land- en tuinbouwproducten hangt in hoge mate af van de kwaliteit van de bodem. Het optreden van ziekten en plagen gerelateerd aan bodemgebonden organismen (aaltjes, schimmels, bacteriën) kunnen teelten ernstig bedreigen en tot aanzienlijke opbrengstderving leiden. Een ruwe schatting op grond van de grootste knelpunten die er in de diverse sectoren worden gemeld, geeft aan dat op jaarbasis in de productie de schade kan oplopen tot 800 M € in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt, 25 M € in de bollenteelt en 20 M € in de boomkwekerij. Schade in de productie heeft echter ook een direct gevolg voor de verdere agrarische keten. Hierdoor lopen de verliezen voor de agrosector in zijn geheel - en dus voor de BV Nederland - nog veel hoger op.

De gezondheid van de bodem wordt door de telers op peil gehouden door het werken met vruchtwisselingschema's die er voor zorgen dat de bodem niet uitgeput raakt en er geen te grote toename van bodempathogenen kan plaatsvinden. Aanvullend worden grondontsmettingsmiddelen gebruikt om de ziekte- en plaagdruk te verminderen. Ook wordt regelmatig land gehuurd om daarmee de teelt op 'gezonde' grond mogelijk te maken. Echter, er is een tekort aan ruimte; het huren van percelen wordt daardoor steeds lastiger. Daarnaast kunnen steeds minder grondontsmettingsmiddelen worden gebruikt (Europese regelgeving) en tenslotte leidt de klimaatverandering tot een situatie waarbij grondgebonden pathogenen een nog grotere bedreiging vormen voor de teelt.

De sectoren zijn zich bewust van de potentiële schade die het gevolg kan zijn van deze ontwikkelingen. Zij hebben in de afgelopen jaren al miljoenen euro's geïnvesteerd in het onderzoek naar duurzame bestrijding van ziekten en

plagen. Er blijkt echter nog veel kennis te ontbreken en er is bij hen behoefte aan een fundamentele aanpak die moet leiden tot het sturen van bodemvitaliteit zodat met innovatieve methoden teelten ook in de toekomst economisch rendabel zijn te houden.

Zonder fundamentele oplossingen zal het steeds moeilijker worden om rendabel te telen. Het zal daardoor moeilijk worden om de exportpositie van Nederland voor de land- en tuinbouw in stand te houden. Bovendien zal door het verdwijnen van onrendabele teelten landschappelijke en sociale gevolgen (verlies aan arbeidsplaatsen) hebben voor Nederland.

Bodem Vitaal! beoogt de benodigde kennis en oplossingen te bieden voor de hierboven geschetste problematiek.

1.3 Schade bij natuurontwikkeling

Natuurontwikkeling heeft een steeds prominentere plaats in het Nederlandse landbouwbeleid. Voor het omzetten van land- en tuinbouwgronden in natuur is sturing van de bodemvitaliteit noodzakelijk. Stabiele natuurontwikkeling is soms pas mogelijk nadat de bodemvitaliteit is hersteld. Daarvoor kan het zijn dat teelten voortijdig uit productie genomen moeten worden. Onvoldoende inzicht in het sturen van de bodemvitaliteit kan ongewenste gevolgen hebben, waardoor de gewenste natuurontwikkeling vertraagt of zelfs mislukt. De economische baten en lasten zijn moeilijk met harde cijfers in beeld te brengen. Ze kunnen wel inzichtelijk gemaakt worden aan de hand van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Voor het opzetten van de EHS moet nog ca. 63.000 ha nieuwe natuur worden ingericht en 39.000 ha in particulier natuurbeheer worden genomen. Als dit proces dank zij gerichte sturing van de bodemvitaliteit bijvoorbeeld 5 jaar sneller zou verlopen, betekent dit een éénmalige batenpost van ca 250 M € (zie de scenarioberekeningen in Bijlage 5). Hierbij is ervan uitgegaan dat het proces alleen maar iets sneller gaat. Er is ook een scenario denkbaar dat natuurontwikkeling mislukt zonder verbetering van de bodemvitaliteit. De schade is dan een veelvoud van het genoemde bedrag.

1.4 Aansluiting Bodem Vitaal!

Het programma Bodem Vitaal! sluit goed aan bij de reeds lopende projecten:

- Vanuit onderzoek dat in het kader van de LNV Nota Duurzame Gewasbescherming wordt uitgevoerd, is geconstateerd dat verdiepend onderzoek aan de bodemvitaliteit nodig is voor een verdere implementatie van geïntegreerde gewasbescherming.
- Het vormt een noodzakelijke verdieping van het lopende project Bodembioologische Indicator van de ministeries LNV en VROM. Hierin wordt naar bodembioologische referenties gezocht voor ecosystemen.
- Het ondersteunt de aanpak van het nieuwe bodembeleid van het Ministerie van VROM zoals dat medio 2007 van kracht is geworden. Hierbij wordt de gebruiker verantwoordelijk voor het behoud van de (biologische) gebruikswaarde van de bodem. Bodem Vitaal! maakt het voor het eerst mogelijk de biologische kwaliteit van een bodem te meten. Dank zij Bodem Vitaal! komen objectieve criteria beschikbaar waarmee vastgesteld kan worden in hoeverre activiteiten van gebruikers invloed hebben op de bodemkwaliteit.
- Daarnaast is Bodem Vitaal! bij uitstek geschikt om doelen van de rijksoverheid voor 'vitale landbouw' en 'duurzaam bodemgebruik', zoals die in het Meerjarenprogramma Vitaal Platteland 2007-2013 'SAMEN WERKEN' van de ministeries LNV, VROM, V&W en OC&W geformuleerd zijn, te verwezenlijken.
- In 'vitale landbouw' wordt expliciet verwezen naar de exploitatie van bodemweerbaarheid als alternatief voor chemische gewasbeschermingsmiddelen.
- Bij 'duurzaam bodemgebruik' wordt het streven uitgesproken om te komen tot landsdekkende bodemkwaliteitskaarten (chemisch, fysisch en biologisch). Voor fysische en chemische karakterisering zijn standaard-procedures beschikbaar, voor biologische kwaliteitsmetingen niet. Bodem Vitaal! ontwikkelt gereedschappen die handen en voeten kunnen geven aan dit beleid dat het behoud van de biologische waarde van de bodem tot doel heeft.

2. Doel van het programma Bodem Vitaal!

Bodem Vitaal! stelt zich tot doel fundamentele instrumenten te ontwikkelen voor het ontrafelen van bodemweerbaarheid en voor het sturen van bodemvitaliteit.

In Bodem Vitaal! worden daarvoor de volgende stappen doorlopen:

- A.** Identificeren van groepen van bodemorganismen die verantwoordelijk zijn voor algemene en specifieke bodemweerbaarheid tegen plantbelagers. Dit leidt tot indicatoren voor bodemweerbaarheid.
- B.** Ontrafelen van de achterliggende mechanismen.
- C.** Definieren en valideren van maatregelen voor het herstel en/of de versterking van algemene en/of specifieke bodemweerbaarheid tegen plantbelagers.

Het bovenstaande is verder uitgewerkt in Bijlage 1.

Het is noodzakelijk om een keuze te maken welke typen plantbelagers als model gaan dienen. Nematoden vormen een belangrijke groep plantbelagers in alle open teelten. Nematoden lijken ook het beste model te zijn om de complexe processen van bodemvitaliteit te kunnen ophelderen. De verwachting is dat signaalstoffen een van de belangrijkste mechanismen vormen tussen plant, belager en organismen die verantwoordelijk zijn voor bodemvitaliteit, omdat zij voor de communicatie tussen deze organismen zorgen. Nematoden kunnen bewegen in antwoord op een signaalstof, en vormen zo een veel beter proefmodel dan andere plantenpathogenen als schimmels en bacteriën.

De aanpak om op deze manier de mechanismen van de bodemvitaliteit te onderzoeken, is volstrekt nieuw en zal ook van grote waarde zijn voor andere programma's waarbij bodemvitaliteit een rol speelt (zie Bijlage 4).

Het programma Bodem Vitaal! leidt tot een serie protocollen die aangeven hoe bodemvitaliteit gestuurd kan worden. De ontwikkelde indicatoren onder A maken het mogelijk om stap C relatief snel te verwezenlijken. Resultaten van de case studies nematoden dienen als basis voor een vertaling naar het sturen van bodemvitaliteit om ook andere ziekten en plagen beter te beheersen. Hiervoor is stap B noodzakelijk.

3. Technische aanpak en haalbaarheid

3.1 De uitdaging

Bodem Vitaal! is gezien de complexiteit van bodems een ambitieus programma. Vijf jaar geleden zou het wellicht overambitieuze en onhaalbaar zijn geweest. De bodem was toen nog letterlijk een 'black box' met een enorme diversiteit aan micro-organismen, die voor meer dan 90% niet kweekbaar en dus niet identificeerbaar waren.

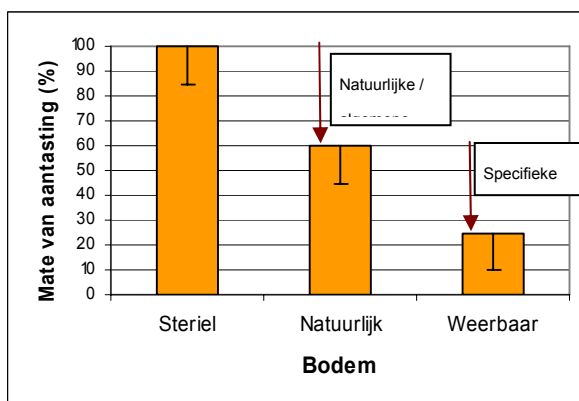
Dank zij de snelle technologieontwikkeling in de moleculaire biologie en de beschikbaarheid van grote, relevante en onderling vergelijkbare databases met DNA-kenmerken (ribosomaal DNA) van bacteriën, schimmels en nematoden, is het nu mogelijk om verschillende typen bodems kwalitatief en kwantitatief te karakteriseren. Verder is voor Bodem Vitaal! al waardevolle kennis gegenereerd voor de analyse van mechanismen van bodemweerbaarheid tegen bacteriën en schimmels. Het gaat om antibioticagenen, stikstofcyclusgenen, enzymen etc. voor groepen bacteriën en schimmels die bodemweerbaarheid beïnvloeden.

Het vernieuwende van Bodem Vitaal! is echter vooral dat we deze kennis niet alleen als indicatoren voor bodemweerbaarheid zullen inzetten, maar ook zullen gebruiken in de speurtocht naar *sturingsmechanismen*.

Het Nederlandse onderzoek (Wageningen UR, NIOO, Universiteiten) is in vergelijking met andere groepen in de wereld uitermate geschikt om dit ambitieuze plan uit te voeren. We bezitten kennis op gebied van (functional) genomics en metabolomics van de bodem om de verdiepende analyses uit te voeren, en zijn ook als geen ander land in staat tot een wetenschappelijke koppeling van analyse tot systeem. Dit laatste is noodzakelijk om detailoplossingen (indicatorpopulaties, met hun functies) te kunnen evalueren in het complexe bodemsysteem en op basis hiervan sturingsinstrumenten te ontwikkelen. Zonder deze kennisketen (zoals in de meeste andere landen), blijft het onderzoek steken in details (zonder tot praktische sturingsinstrumenten te komen) óf het blijft een holistische 'trial and error' benadering. In beide gevallen blijft de 'black box' black. Wij beschikken over de technologieën en Nederland is dus bij uitstek geschikt om via zeer innoverend onderzoek deze 'black box' te ontrafelen.

3.2 Afbakening

Bodemweerbaarheid is het verschijnsel dat een pathogeen veel minder schade (aan de planten) aanricht dan sec op grond van de gemeten dichtheid verwacht zou mogen worden. Dit komt het duidelijkst tot uiting in natuurlijke ecosystemen waar gezonde planten de regel zijn ondanks het feit dat pathogenen alom tegenwoordig zijn. Dit verschijnsel wordt nauwelijks geëxploiteerd omdat de bodem een uiterst biodivers milieu is en onze kennis van de verantwoordelijke elementen, tot op heden, zeer fragmentarisch is. Wat weten we wel? Natuurlijke (biodiverse) bodems kennen een algemene (of natuurlijke) weerstand tegen bodempathogenen (zie Fig. 1).



Figuur 1. Principe van bodemweerbaarheid.

Een grote biodiversiteit van bodemflora en -fauna dempt de proliferatie van bodempathogenen. De mechanismen zijn echter moeilijk te onderzoeken, zodat vanwege de complexiteit weinig exploitatiemogelijkheden worden verwacht. Hierboven op hebben we de zogenaamde specifieke weerbaarheid (zie Fig. 1). Het gaat hierbij veelal om een beperkt aantal antagonisten. *De specifieke weerbaarheid is in principe zowel stuurbaar als overdraagbaar, als we het mechanisme van dit beperkte aantal antagonisten in de complexe omgeving begrijpen.*

De afbakening bestaat in de eerste plaats uit het focussen op specifieke weerbaarheid en het ontwikkelen van fundamentele instrumenten voor het ontrafelen én sturen van weerbaarheid. Deze instrumenten bestaan uit:

- *Identificatie* van bodemgezondheid (genomics: moleculaire karakterisering van relevante populaties)
- *Mechanismen* van bodemgezondheid (metabolomics: welke producten van de relevante populaties zijn verantwoordelijk)
- En op basis hiervan mogelijkheden tot *sturing* in de bodem voor optimale plantengroei.

De plantpathogene aaltjes in de verschillende cases (zie paragraaf 4) zijn gekozen als een *middel* om de instrumenten experimenteel te kunnen toetsen.

Het doel is instrumenten te leveren die voor de sectoren van belang zijn. In eerste instantie voor de beheersing van aaltjes, maar daarna ook voor de beheersing van andere ziekten en plagen. Deze instrumenten zijn ook geschikt voor natuurontwikkeling en ontwikkeling en beheer van groene ruimte.

Een tweede afbakening bestaat uit de concentratie op biologische bodemorganismen en niet op fysische factoren. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de specifieke weerbaarheid gecorreleerd is aan populaties van bacteriën, schimmels en aaltjes. Door deze beperking blijft de uitdaging niettemin zeer groot vanwege de aantallen, soortenrijkdom en de heterogene diversiteit van deze organismen in de bodem. De haalbaarheid ervan wordt echter hoog ingeschat (zie Bijlage 3).

4. Cases bodemweerbaarheid

In de aanpak worden bodems waarin weerbaarheid is geconstateerd, centraal gesteld.

Daarbij worden vier modelsystemen onder de loep genomen die oplopend zijn in mate van ecologisch evenwicht. Ze zijn zo gekozen dat er een goede koppeling mogelijk is met de prioriteiten en met het lopende onderzoek binnen de sectoren bloembollen en akkerbouw en het bodemecologische onderzoek van NIOO, RUG, WU en Alterra. Gedurende de looptijd van het programma zullen er steeds meer concrete maatregelen worden opgeleverd waarmee de sectoren hun voordeel kunnen doen.

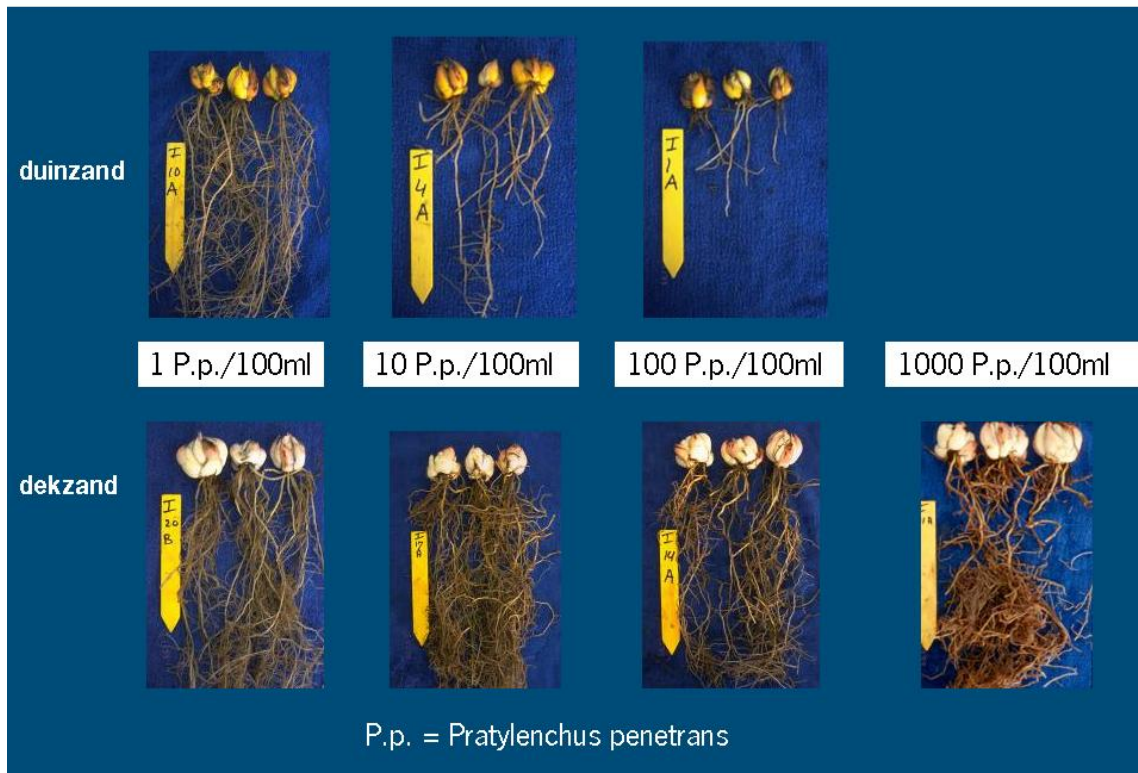
De voorgestelde cases worden in overleg met de ministeries van LNV, VROM en onderzoeksgroepen zo uitgewerkt dat ze als spil kunnen dienen voor kennisontwikkeling en kennisoverdracht.

4.1 Case 1: Niet gebufferde bodem – bodemweerbaarheid aan- getoond – reguliere landbouw

- Gewas: lelie.
- Pathogeen/Parasiet waartegen bodemweerbaarheid aangetoond is: *Pratylenchus penetrans*. Dit aaltje is samen met diverse bodemschimmels verantwoordelijk voor wortelrot.
- Niet weerbare controle: [gestoomde grond] [duinzandgrond].
- Lelietelers wijken steeds meer uit naar het oosten van Nederland, waar ze minder problemen hebben met wortelrot. In het oorspronkelijke teeltgebied op de duinzandgronden, ligt de schadedrempel zeker tien keer zo laag als in de nieuwe teeltgebieden, op de zogenaamde dekzandgronden. Er is dus een **significant verschil in bodemweerbaarheid aangetoond**. Deze ziekteweerbaarheid bleek te berusten op biotische factoren. Het systeem lelie – *Pratylenchus penetrans* leent zich dus goed om bodemweerbaarheid aan te onderzoeken. Omdat bekend is dat bodemweerbaarheid in dekzandgrond is uit te schakelen door te stomen, is een goed vergelijk mogelijk tussen weerbare en niet weerbare bodems:

Beheersmaatregel	Type bodem	
	Duinzand	Dekzand
Niet gestoomd	Niet weerbaar (zie figuur)	Weerbaar (zie figuur)
Gestoomd	Niet weerbaar	Niet weerbaar

Case 1: Bodemweerbaarheid tegen wortelrot in duin- en dekzand



Figuur bij Case 1: Verschil in weerbaarheid tussen een duinzand- en een dekzandgrond (PPO Bollen, Boomkwekerij, Fruit).

Wanneer groepen onder de bacteriën, schimmels en nematoden geïdentificeerd zijn die verantwoordelijk zijn voor de bodemweerbaarheid en het werkingsmechanisme is ontrafeld, wordt duidelijk hoe voorkomen kan worden dat op de dekzandgronden de problemen net zo groot worden als in de duinzandgronden. Bovendien kan die kennis gebruikt worden om bodemweerbaarheid te verhogen.

4.2 Case 2: Weinig gebufferde bodem – bodemweerbaarheid aangetoond – reguliere landbouw

- Gewas: aardappel.
- Pathogeen waartegen bodemweerbaarheid aangetoond is: *Meloidogyne chitwoodi*.
- Zowel vanuit het onderzoek als de praktijk komen sterke aanwijzingen naar voren dat de bodemweerbaarheid van percelen voor *M. chitwoodi* erg uiteenloopt. Dit biedt aanknopingspunten om hypothesen te ontwikkelen naar de oorzaak van de waargenomen verschillen en deze te toetsen.
- Niet weerbare controle: ontsmette perceelsdelen proefvelden PPO.

4.3 Case 3: Gebufferde bodem - bodemweerbaarheid aange- toond – biologische landbouw

- Gewas: continueelt granen bij voorkeur rogge [een endemisch gewas].
- Pathogeen waartegen bodemweerbaarheid aangetoond is: *Pratylenchus*-soorten en *Heterodera*-soorten.
- Niet weerbare controle: ontsmette dekzandgrond uit de gangbare landbouw.
Vanuit Engels en Duits onderzoek bestaan sterke aanwijzingen dat in de continueelten granen bodemweerbaarheid optreedt tegen verschillende groepen aaltjessoorten.

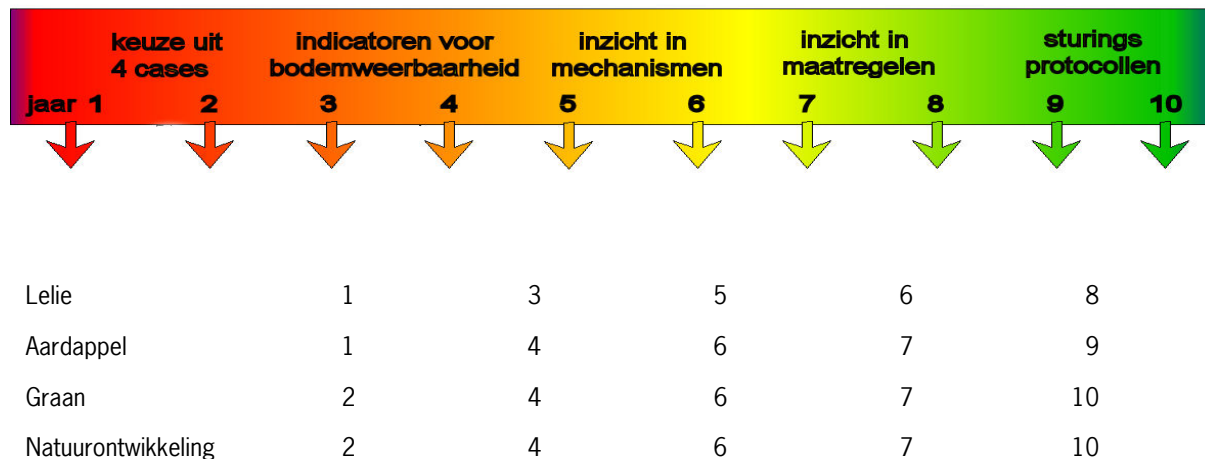
4.4 Case 4: Niet gebufferde bodem in transitie – natuur- ontwikkeling met reguliere landbouw als startpunt

- Dekzandgrond die al langer dan 10 jaar aan de landbouw is onttrokken en waarin de verschillende fasen van successie aanwezig zijn. Een dergelijke bodem staat model voor een stabiele uitontwikkelde bodem.
- Gewas: natuurlijke vegetatie (permanent grasland).
- Pathogenen: monitoren van fluctuaties van plantenparasitaire nematoden op natuurlijke vegetatie.
- Niet weerbare controle: proef omvat niet en recent uit productie genomen plots.
- Vergelijking van 4.3 en 4.4 levert informatie op of en hoe in een landbouwsysteem gestuurd kan worden naar een situatie waarbij na het uit productie nemen van een perceel de gewenste successie in de natuurontwikkeling kan worden versneld.

5. Thema's van onderzoek die dwars op deze vier cases worden gezet

- A. Vaststellen van mate van weerbaarheid, nematodenziektewerend vermogen, van geselecteerde weerbare bodems t.o.v. niet weerbare bodems door kwantificering van schadeparameters en populatiedynamische parameters.
Karakterisatie van geselecteerde weerbare en niet weerbare bodems door DNA-barcode gebaseerde semi-kwantitatieve bepaling van de bodembiotische diversiteit voor bacteriën, schimmels en nematoden. Naast deze biotische karakterisering zullen standaard fysische en chemische eigenschappen van deze bodems worden bepaald. Wanneer er andere parameters zijn die zich lenen voor karakterisering van bodemweerbaarheid, kunnen deze worden meegenomen. Vaststelling van correlaties tussen meetresultaten (biotische diversiteit en abiotische factoren) en weerbaarheid. Complexe datasets worden geanalyseerd met behulp van een 'fuzzy neural network'.
- B. Het combineren van onder A geïdentificeerde indicator-organismen met ecologische expertise en literatuurgegevens leidt tot goed onderbouwde hypothesen over de mechanismen die ten grondslag liggen aan de vastgestelde bodemweerbaarheid. Immers *'to act and not just to be'*, zal bepalen of aangetroffen indicatororganismen ook daadwerkelijk tot bodemweerbaarheid leiden. Eerst wordt bepaald *welke* metabole processen en producten van belang zijn voor de weerbaarheid tegen plantenpathogenen (in ons geval de plantpathogene aaltjes). Vervolgens wordt onderzocht *hoe* ze in de driehoek rhizosfeer, pathogeen en grondeigenschappen een rol spelen. Tot slot wordt bekeken of populatieverschuivingen en/of vrijkomen van de juiste metabole producten in de grond te *sturen* zijn in experimentele opstellingen.
- C. Testen en implementeren van praktijkmethoden/managementmaatregelen ter verbetering en/of stimulering van bodemweerbaarheid. Hierbij gaat het erom dat de sturingsprincipes ook daadwerkelijk in de complexe bodems werken, zoals in de vier cases.

6. Tijdschema uitvoering onderzoek en kennisverspreiding



Dit tijdschema is een algemene lijn voor het achtereenvolgende onderzoek aan de thema's A – C. De ambitie is dat het onderzoek na 10 jaar tot sturingsprotocollen (de instrumenten) ofwel een zogenaamde 'toolbox', geleid moeten hebben, en daarmee bruikbaar zijn voor de praktijk.

Bij de uitwerking van de thema's voor iedere case zal zeker blijken dat deelonderzoeken veel sneller de lijn A – C zullen doorlopen. Afhankelijk van de case zullen er dus regelmatig deelresultaten beschikbaar komen die al geschikt zijn voor deze toolbox en dus door de praktijk gebruikt kunnen worden. Dit heeft enkele grote voordelen:

- De praktijk hoeft geen 10 jaar te wachten, maar kan tussendoor met de deelresultaten aan de slag. Vrijwel altijd zal er nog een tussenstap nodig zijn: integratie van de resultaten in andere aaltjesonderzoekprogramma's van de overheid en de praktijk, waarna pas de praktische vertaalslag in een geïntegreerde beheersing van aaltjes mogelijk is. Dit geeft grote betrokkenheid van alle stakeholders bij het onderzoek. Bijkomend voordeel is dat feed back na toepassing in de praktijk mogelijk is, zodat op basis hiervan het programma tussentijds kan worden bijgesteld.
- Door een sterke interactie met de diverse onderzoekprogramma's die een relatie hebben met bodemweerbaarheid (zie Bijlage 4) zullen deelresultaten ook direct daar kunnen worden gebruikt. Dit betekent dat fundamentele principes uit Bodem Vitaal! direct opgenomen kunnen worden in die andere programma's en bijvoorbeeld aangewend kunnen worden voor de beheersing van bodemgebonden fytopathogene schimmels of bacteriën, dan wel bouwstenen leveren voor een systeembenadering van bodemweerbaarheid. De resultaten van Bodem Vitaal! zullen dus veel breder toepasbaar zijn dan voor de beheersing van plantpathogene aaltjes.

N.B. Bij de verdere uitwerking van deze houtskoolschets zal een gedetailleerd schema worden toegevoegd wanneer tussentijdse 'toolbox' resultaten beschikbaar komen voor de stakeholders van Bodem Vitaal! én voor de andere programma's zoals aangegeven in Bijlage 4.

7. Relatie tussen Bodem Vitaal! en actueel beleid

7.1 Nieuw bodembeleid

Het Ministerie van VROM heeft in 2007 het nieuwe Besluit Bodemkwaliteit in werking laten treden: 'Het bodembeleid gaat zich richten op een bewuster en meer duurzaam gebruik van de bodem, waarbij de (gebruiks)waarde van de bodem behouden moet blijven'.

'De gebruiker van de bodem heeft het recht de bodem te benutten maar ook de plicht zorgvuldig met de bodem om te gaan en met belangen van derden. Het vertrekpunt bij het bewuster omgaan met de bodem is het gegeven dat de bodem in staat is en in staat moet blijven om zo goed mogelijk zogenaamde maatschappelijke diensten te leveren. Voorbeelden daarvan zijn het zich (eerder) herstellen van verstoring of verandering van het gebruik, het opslaan en bewaren van water, gassen, stoffen en energie, en het afbreken van ongewenste (verontreinigende) stoffen en het aanmaken van gewenste stoffen die de bodemvruchtbaarheid ten goede komen. Ook heeft een gezonde bodem het natuurlijke vermogen om ziekten en plagen te voorkomen of te onderdrukken, een dragend vermogen te bieden en een gezonde bodem bezit een stabiele fysieke structuur'.

'De gebruiker van de bodem op een locatie verzamelt, vrijwillig of verplicht, informatie over de chemische, fysische en biologische eigenschappen van de bodem met het oog op zijn gebruik van de bodem en om de gevolgen daarvan te kunnen beoordelen. Voor een zorgvuldig beheer van de bodem moet bestaande en nieuwe informatie over de kwaliteit en het gebruik van de bodem openbaar beschikbaar komen'.

Bron: VROM – dossier Bodembeleid - <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=9736#nieuwbodembeleid>

Concrete relatie nieuw bodembeleid - Bodem Vitaal!

Om na te gaan of de gebruiker de waarde van de bodem behoudt, zal de gebruikswaarde eerst moeten worden vastgesteld. Het nieuwe beleid onderstreept dat een bodem behalve fysische en chemische ook waardevolle biologische kenmerken bezit (waaronder het vermogen om ziekten te onderdrukken). Om dit beleid te implementeren zullen we gereedschappen moeten hebben die de biologische kenmerken van een perceel in kaart kunnen brengen. Bestaande gereedschappen (zie Bijlage 1, tekstbox bodemweerbaarheids-indices) zijn arbeidsintensief en karakteriseren maar zeer ten dele de biologische waarde van grond. Bodem Vitaal! genereert instrumenten die sneller een accuraat beeld geven van de biologische bodemgesteldheid. Het bijbehorende mechanismeonderzoek identificeert met de ontwikkelde instrumenten gericht hoe organismen tot bodemweerbaarheid leiden. Bovendien valideert het maatregelen die gebruikers aanwenden om de waarde van de bodem te behouden c.q. te herstellen.

7.2 Meerjarenprogramma Vitaal Platteland 2007-2013 'SAMEN WERKEN'

Het MJP2 is een gezamenlijk programma van de ministeries van LNV, VROM, V&W en OC&W. De doelen van de rijksoverheid binnen MJP2 zijn ondergebracht in acht thema's. Deze thema's zijn: Natuur, Landbouw, Recreatie, Landschap, Bodem, Water, Reconstructie Zandgebieden en Sociaal- economische vitaliteit. Het voorgestelde programma is vooral relevant voor de thema's Landbouw en Bodem:

A. Vitale Landbouw (MJP2 – p. 32 -)

'Het rijk zet in op duurzaam gebruik van agrobiodiversiteit om duurzame productie te bevorderen. Akkerranden kunnen bijvoorbeeld worden ingezet om *de natuurlijke ziekten- en plaagonderdrukking te vergroten* en daarmee een reductie in de benodigde hoeveelheid chemische gewasbeschermingsmiddelen te realiseren. *Stimuleren*

van bodemleven draagt bij aan onder andere het vergroten van het watervasthoudend vermogen en voorkomt de uitspoeling van nutriënten’.

B. Duurzaam bodemgebruik (MJP2 – p. 44 -).

‘Voor het gebruik van de bodem in het landelijk gebied is een goede bodemkwaliteit van groot belang. Het rijk wil dan ook dat de gebruikswaarde van de bodem behouden blijft of wordt hersteld. Hiertoe moet het gebruik van de bodem worden afgestemd op de gewenste (water)bodemkwaliteit, waarbij het noodzakelijk kan zijn verontreinigde (water)bodems te saneren of de verontreiniging te beheersen’.

‘Om duurzaam bodemgebruik te realiseren is inzicht in de bodemkwaliteit (chemisch, fysisch en biologisch) noodzakelijk. Het streven is om een landsdekkend beeld van de bodemkwaliteit (bodemkwaliteitskaart per gemeente) vast te stellen. Daarnaast is inzicht in de fysische en biologische bodemkwaliteit noodzakelijk.

Tussen rijk en provincies zijn in de overeenkomst 2005-2006 al afspraken gemaakt om tussen 2005–2009 een landsdekkend beeld van de kwaliteit van de bodem te maken ten dienste van ruimtelijke ordening en beheer van bodem en water. Bij het opstellen van het landsdekkend beeld bodemkwaliteit zal niet worden uitgaan van een uniforme opzet, maar van een vraaggestuurd, flexibel en ondersteunend informatiesysteem, omdat zowel de bodem als de orderings- en inrichtingsbehoeften regionaal variëren.

In de overeenkomst 2007-2013 zullen met de provincies afspraken worden gemaakt om pilots uit te voeren gericht op *het gebruik en beschikbaar komen van bodeminformatie in landbouwgebieden en in gebieden voor natuurontwikkeling’.*

Bron: <http://www.minlnv.nl/>

Concrete relatie ‘Vitaal Platteland’ met Bodem Vitaal!

Om te komen tot een vitale landbouw met een minimale inzet van chemische gewasbeschermingsmiddelen zullen er alternatieven geboden moeten worden die het gedeeltelijk wegvallen van deze middelen zullen opvangen. Het natuurlijk ziektenonderdrukkend vermogen van bodems heeft de potentie om hierin een belangrijke rol te spelen. Echter, we zullen hiertoe de verantwoordelijke biologische componenten moeten identificeren en dat is precies wat het programma Bodem Vitaal! beoogt. Beleid voor duurzaam bodemgebruik krijgt handen en voeten als we de biologische kwaliteit van de bodem kunnen vaststellen. Huidige meetgereedschappen zijn arbeidsintensief en karakteriseren maar zeer ten dele de biologische waarde van de bodem. Technologische vooruitgang - met name op het gebied van DNA-barcoding van bodemleven – maakt dat we in het programma Bodem Vitaal! instrumenten ontwikkelen die de biologische kwaliteit van de bodem daadwerkelijk in kaart brengen en gericht kunnen verbeteren.

Kaderrichtlijn water en het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP4)

Onderdeel van deze VROM-beleidsonderdelen is de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Grondontsmettingsmiddelen vormen in directe zin een belasting voor grond- en oppervlaktewater. Maar ook in indirecte zin dragen bodemziekten bij aan chemische vervuiling doordat gewasaantasting leidt tot een toename van de onkruiddruk en daarmee van het gebruik van herbiciden.

Concrete relatie KRW en NMP4 met Bodem Vitaal!

Door op niet-chemische wijze bodemziekten te kunnen onderdrukken zal de afhankelijkheid van grondontsmettingsmiddelen afnemen.

Natura 2000/Ecologische Hoofd Structuur

Natura 2000 is een netwerk van Europese natuurgebieden. Het vormt de basis van het Europese natuurbeleid. Natura 2000 is gericht op de instandhouding en ontwikkeling van soorten en ecosystemen die voor Europa belangrijk zijn.

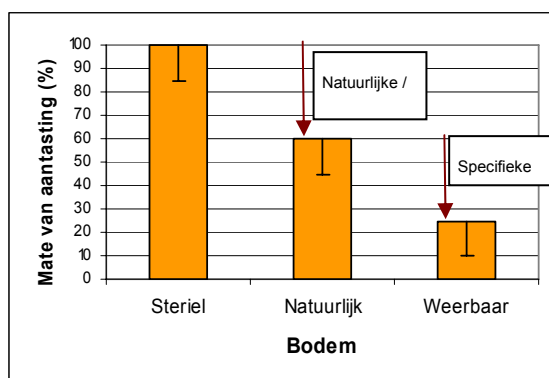
De Natura 2000-gebieden, de Ecologische Hoofd Structuur en de Nationale Parken zijn met elkaar verbonden. Ook zijn er grensoverschrijdende verbindingen met natuurgebieden in buurlanden. Op deze manier is in Nederland een uniek ecologisch netwerk tot stand gebracht.

Concrete relatie Natura 2000/Ecologische Hoofd Structuur met Bodem Vitaal!

Voor de ontwikkeling van landbouwgronden tot waardevolle ecosystemen binnen de Ecologische Hoofd Structuur- of Natura2000-gebieden levert met name de vierde case van Bodem Vitaal! inzichten en instrumenten op die helpen om ex-landbouwgronden in de gewenste richting te ontwikkelen. Bodemvitaliteit kan een zeer belangrijke rol spelen om het proces naar natuurontwikkeling te versnellen (zie Bijlage 5).

Bijlage 1.

Uitwerking van de doelstelling van het programma Bodem Vitaal!



Figuur 1. Principe van bodemweerbaarheid.

1a. Bodemweerbaarheid is het verschijnsel dat een pathogeen veel minder schade (aan de planten) aanricht dan sec op grond van de gemeten dichtheid verwacht zou mogen worden. Dit komt het duidelijkst tot uiting in natuurlijke ecosystemen waar gezonde planten de regel zijn ondanks het feit dat pathogenen alom tegenwoordig zijn. Dit verschijnsel wordt nauwelijks geëxploiteerd omdat de bodem een uiterst biodivers milieu is en onze kennis van de verantwoordelijke elementen, tot op heden, zeer fragmentarisch is. Wat weten we wel? Natuurlijke (biodiverse) bodems kennen een algemene (of natuurlijke) weerstand tegen bodempathogenen (zie Fig. 1). Een grote biodiversiteit van bodemflora en -fauna dempt de proliferatie van bodempathogenen. *Dit is een stuurbaar, maar niet overdraagbaar verschijnsel.* Hierboven op hebben we de zogenaamde specifieke weerbaarheid (zie Fig. 1). Het gaat hierbij veelal om een beperkt aantal antagonisten. *De specifieke weerbaarheid is in principe zowel stuurbaar als overdraagbaar, mits we het mechanisme van dit beperkt aantal antagonisten in de complexe omgeving begrijpen.*

Definities

General suppression: The widespread but limited ability of soils to suppress the growth or activity of soil borne pathogens has been referred to as 'general suppression', 'general' or 'nonspecific antagonism', or 'biological buffering'. General suppression is related to the total microbial biomass in soil, which competes with the pathogen for resources or causes inhibition through more direct forms of antagonism. General suppression often is enhanced by the addition of organic matter, certain agronomic practices, or the buildup of soil fertility, all of which can increase soil microbial activity. No one microorganism is responsible for general suppression and the suppressiveness is not transferable between soils.

Specific suppression is superimposed over the background of general suppression and is due, at least in part, to the effects of individual or select groups of microorganisms during some stage in the life cycle of a pathogen. Transferability is the key characteristic of specific suppression and the term 'transferable suppression' has been used synonymously with specific suppression.

Suppressive soils undoubtedly owe their activity to a combination of general and specific suppression.

Uit: Annu. Rev. Phytopathol. 2002. 40:309-48

1b. In Bodem Vitaal! richten we ons op de bodemweerbaarheid ten aanzien van plantenparasitaire nematoden. Deze groep is gekozen vanwege de economische relevantie, de beschikbaarheid van goed beschreven cases, het gemak waarmee ze uit de bodem geïsoleerd en gekwantificeerd kunnen worden en de beschikbaarheid van gedetailleerde biologische en agronomische informatie. *Voor wat betreft het onderliggend biotisch principe leggen we ons toe op bacteriën, schimmels en nematoden.*

Met deze groepen brengen we een zeer aanzienlijk deel van het bodemvoedselweb in kaart (Fig. 2). Het zal resulteren in indicatoren voor (groepen) van organismen die bepalend zijn voor bodemweerbaarheid ten aanzien van plantenparasitaire aaltjes.

1c. Zodra bekend is welke (groepen van) organismen een effect hebben op bodemweerbaarheid tegen aaltjes, zal onderzocht worden wat de achterliggende mechanismen zijn. Immers *'to act and not just to be'*, zal bepalen of aangetroffen indicator-organismen ook daadwerkelijk tot bodemweerbaarheid leiden. Op het gebied van biotische bodemweerbaarheid tegen pathogene bacteriën en schimmels zijn in een aantal gevallen de onderliggende principes opgehelderd; van *Lysobacter* is aangetoond dat het als antagonist functioneert tegen *Pythium* (Folman *et al.*, 2003) en *Rhizoctonia*, en ziektevering tegen *Rhizoctonia solani* AG3 bleek positief gecorreleerd met de microbiële diversiteit (Garbeva *et al.*, 2006). Veelal zijn ook de mechanismen bekend: productie van specifieke antibiotica, afbrekende enzymen of competitie voor essentiële voedselcomponenten. Het effect is dat door deze metabole producten de plantpathogene schimmel gedood of sterk in ontwikkeling geremd wordt.

In de - tot op heden - zeldzame gevallen dat mechanismen die ten grondslag liggen aan specifieke bodemweerbaarheid tegen plantenparasitaire nematoden geïdentificeerd zijn, bleek het om schimmels (bijv. Yin *et al.*, 2003a) en bacteriën (bijv. Yin *et al.*, 2003b) te gaan. Uit onderzoek aan insectenparasitaire aaltjes weten we dat plantenwortels na vraat door insecten aangezet kunnen worden tot de productie van signaalstoffen die de natuurlijke vijanden van het insect (de insectenparasitaire aaltjes in dit voorbeeld) aan kunnen trekken (Rasman *et al.*, 2005). (Niet-)plantenparasitaire nematoden kunnen ook relevant zijn omdat er onder nematoden een grote diversiteit aan predatoren is ('aaltjes die andere aaltjes eten') en aaltjes onderling kunnen concurreren om dezelfde ecologische niche. Plantenparasitaire nematoden kunnen direct als voedselbron dienen voor specifieke schimmels en bacteriën, maar ook voor diverse arthropoda. Anderzijds kunnen deze micro-organismen het uitkomen van de nematodeneieren en/of de waardplantlokalisatie hinderen. Ook bestaan er mechanismen waarbij de plant als afweer tegen een belager natuurlijke vijanden van die belager lokt. In de bodem is dit aangetoond voor de interactie maïs – maïswortelkever – insectenparasitaire nematode (Rasman *et al.*, 2005). De ontwikkelingen gaan momenteel razend snel na deze eerste identificatie van een tritrofe relatie in de bodem. Inmiddels is er ook een nieuw mechanisme ontdekt waarbij een entomopathogene schimmel in de rhizosfeer van planten op nog onbekende wijze het plaagorganisme naar de rhizosfeer van specifiek deze besmette planten lokt (Kepler *et al.* 2006). Het is dan nog maar een kleine stap om ook een interactie te vinden waarbij een nematofage schimmel of ander micro-organisme in de rhizosfeer plantenparasitaire aaltjes lokt. Op het ogenblik zijn er al veel publicaties waarin lokstoffen van planten en nematofage schimmels aangetoond zijn, die een rol spelen bij de interactie met plantenparasitaire aaltjes. Een voorbeeld dicht bij huis zijn signaalstoffen die zijn aangetoond voor stengelaaltjes door ui, lelie en andere bolgewassen.

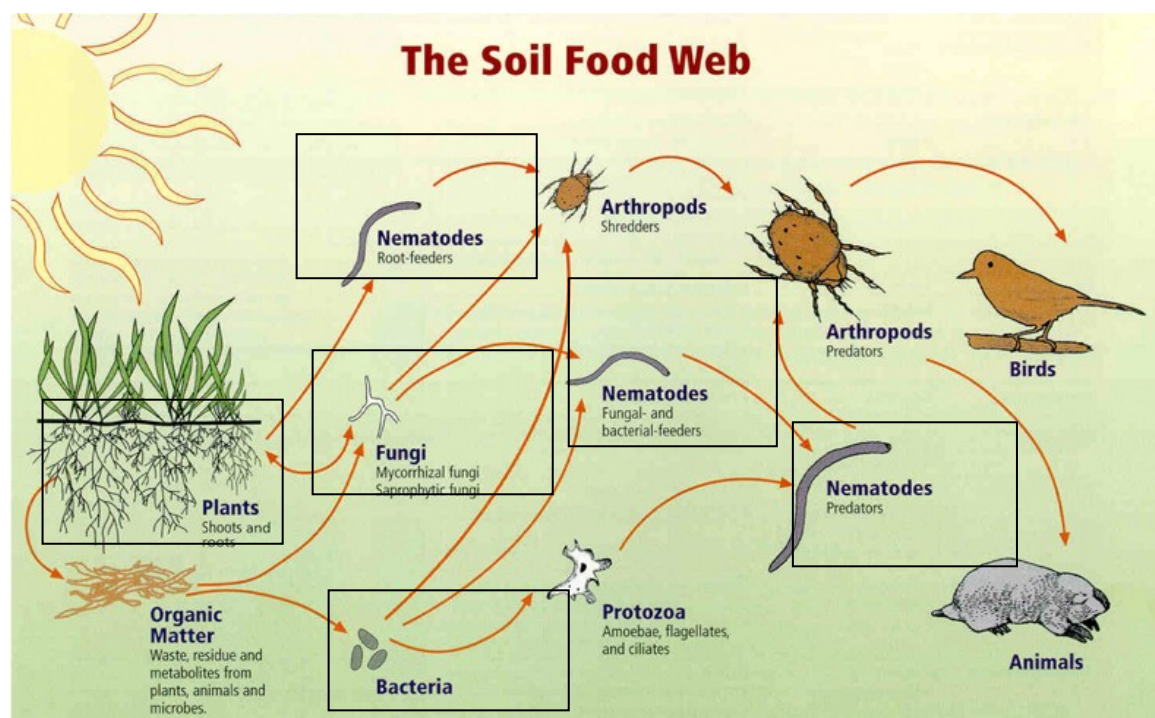
De stoffen, de sturing van de processen en hun precieze rol is echter nog niet geïdentificeerd. Met nieuwe functional genomics (= activiteit van genen) en metabolomics (= daadwerkelijk gemaakte producten) technologieën wordt verwacht dat de rol van alle metabole producten die bij de specifieke bodemweerbaarheid tegen plantenparasitaire nematoden een rol spelen, opgehelderd kunnen worden. De koppeling van indicator-organismen én hun mechanismen zal de basis vormen van sturing van bodemweerbaarheid.

De binnen Bodem Vitaal! verkregen inzichten in bodemweerbaarheid tegen aaltjes zullen eveneens waardevol blijken ten aanzien van bodemweerbaarheid tegen plantpathogene schimmels en/of bacteriën. Hierdoor zal bij dergelijk onderzoek niet meer vanaf nul te worden begonnen.

1d. Op dit moment wordt een breed scala aan (commerciële) producten aangeboden die pretenderen de bodemweerstand tegen plantenparasitaire nematoden te verhogen. Onder deze producten vallen:

- een aantal soorten mest al dan niet aangevuld met chitine en/of kunstmest
- een groot aantal soorten compost waarbij de leeftijd van de compost grote invloed zou hebben op de effectiviteit
- tuinafval waarbij de hoeveel boombast positief gecorreleerd zou zijn met de stimulering van het aaltjes onderdrukkend vermogen
- gehakselde Bengaalse hennep (*Crotalaria juncea*)
- 'biomineralen' (producten zoals 'sincocin AGTM')
- *etc. etc.*

De aangeraden hoeveelheden op te brengen materiaal kunnen oplopen tot 250 ton per hectare (voor overzicht zie bijv. <http://edis.ifas.ufl.edu/NG032>). Het effect van de bovengenoemde producten is veelal niet of nauwelijks onderzocht. Bodem Vitaal! maakt het mogelijk op objectieve gronden het kaf van het koren te scheiden.



Figuur 2. Bodemvoedselweb. Voor wat betreft biomassa zijn bacteriën en schimmels de belangrijkste spelers in de bodem. Nematoden vormen de meest veelvoorkomende diergroep. Protozoa en arthropoda vormen in de bodem voor wat betreft biomassa en biodiversiteit relatief kleine groepen zonder (voor zover nu bekend) een duidelijke relatie met bodemweerstand. Deze groepen worden in dit programma buiten beschouwing gelaten.

(Bron: USDA Natural Resources Conservation Service)

Bijlage 2.

Achtergronden bodemvitaliteit en bodemweerbaarheid

1. Wat is bodemvitaliteit en bodemweerbaarheid?

De bodem is het meest dichtbevolkte ecosysteem dat we kennen. Bacteriën en schimmels zijn voor wat betreft biomassa de belangrijkste spelers. Hun diversiteit is enorm: iedere reguliere gram grond bevat 5.000 - 10.000 verschillende genotypen. Nematoden - aaltjes - vormen de meest talrijke diergroep op aarde. Deze drie diverse en zeer veel voorkomende spelers vormen een zeer complex netwerk (voedselweb). Planten zijn voor de toevoer van voedingsstoffen afhankelijk van de bodem, en er zijn bacteriën, schimmels en nematoden ontstaan die op hun beurt de plantenwortels exploiteren als voedselbron. De bodemvitaliteit is dus essentieel voor optimale plantengroei. *Bodemvitaliteit is dus absoluut noodzakelijk om een bodem geschikt te houden voor landbouw en natuurontwikkeling.* Een kleine minderheid heeft zich in de loop van de evolutie ontwikkeld tot gespecialiseerde parasieten van hogere planten. Echter, in natuurlijke ecosystemen domineren deze parasieten en pathogenen zelden. Dit zien we overal om ons heen; in natuurlijke systemen is het overgrote deel van de planten gezond, terwijl zij toch volop blootgesteld zijn aan pathogenen. Dit komt mede door de regulerende werking door andere, niet pathogene organismen. In de bodem noemen we dit verschijnsel bodemweerbaarheid (voor recent overzicht zie Mazzola 2004). *Bodemweerbaarheid is dus absoluut noodzakelijk tegen het optreden van plantenziekten.* Het is aangetoond dat de bodemweerbaarheid vooral te danken is aan de biotische fractie. Algemene weerbaarheid is het gezamenlijke effect van aanzienlijke delen van de bodemflora en -fauna (dus afhankelijk van bodemvitaliteit). De specifieke weerbaarheid wordt bepaald door beperkte aantallen antagonisten. De samenstelling van deze groep is pathogeen specifiek (relatief smalle causale verbanden). Daar waar ze bepalend zijn voor het leefmilieu van relevante delen van de biotische fractie spelen chemische en/of fysische bodemvariabelen uiteraard een rol.

Hoe verhouden bestaande bodemvitaliteits-indices zich tot het voorgestelde programma?

Algemene bodemweerbaarheid is nauw gecorreleerd aan het begrip bodemvitaliteit. Als praktisch bruikbare ecologische veldparameter voor bodemvitaliteit wordt vaak de nematodengemeenschap gebruikt. Nematoden komen veel voor, zijn gemakkelijk extraheerbaar, en vertonen een grote diversiteit aan reacties ten aanzien van bodemverstoringen. Bepaling van bodemvitaliteit aan de hand van analyses van de nematodengemeenschap (de zgn. Maturity Index; zie bijv. Bongers en Ferris, 1999) is in Nederland een courant commercieel product. *Anders dan het huidige voorstel zijn bestaande bodemvitaliteits-indices hoogstens indicatief voor de mate van algemene bodemweerbaarheid. Dergelijke indices leiden ons dus ook nooit direct tot de ontwikkeling van tools voor de optimalisatie van de bodemvitaliteit.* Met de resultaten van het huidige voorstel kunnen bestaande maatregelen op hun waarde geschat worden.

2. Bodemweerbaarheid en plantenparasitaire nematoden

In de Nederlandse landbouw is de economische schade die plantenpathogenen aanrichten - en dit geldt met name voor parasitaire nematoden - zeer aanzienlijk. Jaarlijks veroorzaken deze nematoden in Nederland voor $\approx$ €200.000.000 schade. We hebben het hierbij over directe schade - verlies aan opbrengst en/of verlies aan kwaliteit. De indirecte schade is hierbij niet gekapitaliseerd. Dit is de schade die aan het (bodem)milieu wordt toegebracht bij de bestrijding van deze plantenpathogenen. Een specifieke schadepost wordt veroorzaakt door nematoden met

een quarantainestatus die de handel en export van uitgangsmateriaal onmogelijk maken. De bestrijding van nematoden met chemische middelen leidt tot op heden tot blijvende afhankelijkheid van grondontsmettings- en grondbehandelingsmiddelen die zowel vanuit het oogpunt van kosten, voedselveiligheid, volksgezondheid, arbeidsveiligheid als milieu tot een minimum moet worden beperkt.

Ziekteverwekkers in de bodem zijn klein en veelal lastig (microscopisch) te herkennen. Met name DNA- technologie stelt ons meer en meer in staat om deze ziekteverwekkers eerder en exacter te herkennen. Dit maakt het mogelijk om effectiever en met inzet van minder middelen verschuivingen in ziektedruk te meten. Uiteraard is dit winst ten opzichte van de uitgangssituatie, echter we maken hierbij nog steeds geen gebruik van de weerbaarheid van de bodem. In reguliere landbouwsystemen is het ziekteonderdrukkend vermogen van de grond volstrekt onvoldoende. Als we in staat zijn (functionele) groepen onder de bacteriën, schimmels en nematoden te identificeren die (in wissellende samenstelling) verantwoordelijk zijn voor het ziekteonderdrukkend vermogen en de sturingsmechanismen in de diverse trofische relaties te begrijpen, dan kunnen we methoden ontwikkelen waarmee we hierop actief kunnen sturen. Door ontwikkelde indicatoren voor de relevante organismen in te zetten bij onderzoek naar bodemweerbaarheidsbevorderende maatregelen zullen tools ontwikkeld worden waarmee we het gewenste proces kunnen sturen. Selectie van het aantal te toetsen maatregelen zal bespoedigd worden wanneer tijdens het project inzicht is verworven in de achterliggende mechanismen van bodemweerbaarheid.

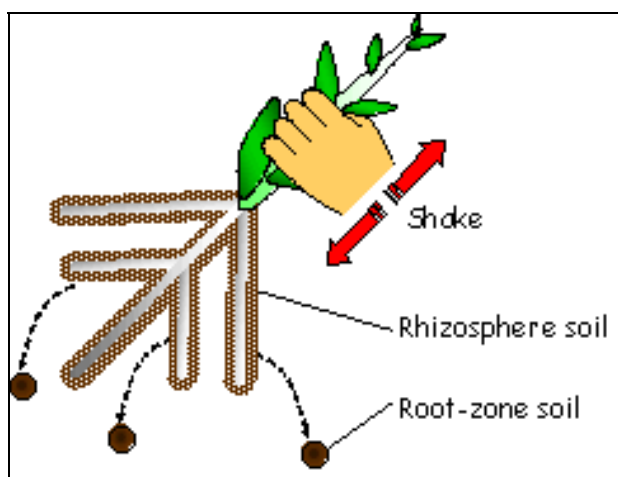
3. Bodemweerbaarheid en herstel ecologische hoofdstructuur

Habitat fragmentatie is een groot probleem in Nederland. We hebben een aanzienlijk aantal, relatief onverstoorde natuurlijke gebieden, echter deze gebieden zijn veelal te klein om stabiel te zijn (inteeltdepressie en/of toenemende genetische kwetsbaarheid zijn reële gevaren). De overheid is daarom actief bezig met het aan elkaar koppelen van natuurgebieden. De creatie van verbindingzones tussen natuurgebieden behelst vaak het uit bedrijf nemen van landbouwgrond. In termen van grondmanagement betekent dit het afzien van het verder landbouwkundig exploiteren van de bodem. Behalve het wegnemen van de bovenste, sterk geëutrofiëerde toplaag is het echter volstrekt onduidelijk welke beheersmaatregelen het herstel van het bodemecosysteem bevorderen c.q. versnellen. Omdat we in dit programma vaststellen welke biotische en abiotische componenten via welke mechanismen verantwoordelijk zijn voor bodemweerbaarheid, betekent dit dat we voor het eerst in staat zullen zijn om gericht maatregelen te nemen die de bodemvitaliteit bevorderen. Bovendien hebben we de gereedschappen in handen om de effectiviteit van dergelijke maatregelen te verifiëren.

Bijlage 3.

Achtergrond technische aanpak en haalbaarheid

Het in Bijlage 1 genoemde plan is gezien de complexiteit van bodems ambitieus, en vijf jaar geleden zou het wellicht overambitieuze en onhaalbaar zijn geweest. Echter, snelle technologieontwikkeling in de moleculaire biologie en de beschikbaarheid van grote, relevante en onderling vergelijkbare databases met DNA-kenmerken (ribosomaal DNA) van bacteriën, schimmels en nematoden maken het mogelijk om verschillende typen bodems kwalitatief en kwantitatief te karakteriseren. Daarnaast is voor Bodem Vitaal! al waardevolle kennis gegenereerd t.a.v. analyse van bodemweerbaarheid tegen bacteriën en schimmels. Het betreft genomische markers voor groepen bacteriën en schimmels die bodemweerbaarheid beïnvloeden, antibioticagenen, stikstofcyclusgenen, enzymen etc. Het vernieuwende van dit programma is echter dat we deze kennis niet alleen als indicatoren voor bodemweerbaarheid zullen inzetten, maar zullen gebruiken in de speurtocht naar sturingsmechanismen.



Figuur 3. Sampling (Bron: Fujii et al., 2005).

De complexiteit van de bacterie-, schimmel- en nematodengemeenschappen, en de onregelmatige verdeling van organismen in de bodem maakt dat zorgvuldige, bodemweerbaarheid-relevante bemonstering cruciaal is. Plantenparasitaire nematoden brengen het overgrote deel van hun levenscyclus door in de rhizosfeer. Het lijkt dus redelijk om aan te nemen dat organismen verantwoordelijk voor bodemweerbaarheid zich daar zullen bevinden. Het nemen van een rhizosfeermonster is redelijk eenvoudig; het wortelstelsel wordt opgegraven en ontdaan van los aanhangende grond (zie Figuur 3). Vervolgens wordt er een totaal DNA-extract gemaakt van het wortelstelsel met daaraan alle bodemweerbaarheid-relevante organismen.

Algemene en specifieke weerbaarheid kunnen apart aan een enkel object gemeten worden door gebruik te maken van de overdraagbaarheid van dit laatste type weerbaarheid. Dit houdt in dat een relatief klein rhizosfeermonster genomen zal worden. Hiermee wordt vervolgens de niet weerbare controlegrond geïnoculeerd. Omdat algemene weerbaarheid niet overdraagbaar is, creëren we nu een bodem waarin alleen de specifieke weerbaarheid een rol speelt. Inoculatie zal veelal onvoldoende zijn als we niet de juiste omstandigheden kennen waardoor de ingebrachte populatie zijn weerbare werk kan doen. Onderzoek naar mechanismen zal dus steeds gekoppeld moeten worden aan identificatie van werende populaties.

Uit eerder onderzoek (zie ook Bijlage 1) lijkt het redelijk aan te nemen dat organismen verantwoordelijk voor bodemweerbaarheid gezocht moeten worden in de bacterie-, schimmel- en nematodengemeenschappen. De methodologische aanpak zoals die hieronder omschreven, is een geactualiseerde versie van een succesvolle aanpak die geleid heeft tot gedetailleerd inzicht in bodemweerbaarheid tegen het bietencystenaaltje *Heterodera schachtii* (Yin *et al.*, 2003a, Yin *et al.*, 2003b; onderzoek van University of California – Riverside).

1. Karakterisering van bacteriegemeenschappen in de rhizosfeer

Voor de ontwikkeling van indicatoren voor de karakterisering van de zeer biodiverse bacteriegemeenschappen in de bodem (5.000 – 10.000 soorten per g) en hun relevante producten zijn er inmiddels vele geavanceerde technologieën ontwikkeld. Zo kan gebruik worden gemaakt van de beproefde DGGE om groepen te kunnen onderscheiden, en van verfijndere technieken zoals zgn. oligonucleotide fingerprinting van rRNA-genen (Valinsky *et al.*, 2002) of zogenaamde phylochips (Berkeley Lab California USA), een array met 500.000 probes die afgeleid zijn van bacteriële 16S ribosomaal DNA-sequenties (Brodie *et al.*, 2006). Daarnaast zijn er kwantitatieve multiplex chips (Biotrove) met daarop sequenties van groepen bacteriën, antibioticagenen en enzymen, waarmee ook kwantitatieve relaties met bodemweerbaarheid bepaald kunnen worden.

Uiteraard zal bij verdere uitwerking gekozen worden voor de meest veelbelovende technologieën.

2. Karakterisering van nematodengemeenschappen in de rhizosfeer

Voor karakterisering van nematodengemeenschappen zal gebruik gemaakt worden van 'kenmerkende DNA-handtekeningen' die afgeleid zijn van Small Subunit ribosomaal DNA (SSU rDNA)-sequenties. Het Laboratorium voor Nematologie (WU) heeft inmiddels wereldwijd de grootste SSU/LSU (L = large) rDNA-database voor nematoden. Deze DNA-sequenties zijn op dit moment slechts gedeeltelijk publiek. Vermogen om met deze dataset aaltjes op familie, genus en soortniveau te identificeren, is inmiddels aangetoond (Holterman *et al.*, 2006). Enkele afgeleide detectieproducten zijn in Nederland commercieel op de markt gebracht door Blgg b.v. (Wageningen/Oosterbeek). Binnen dit project zullen nematodengemeenschappen breed (op familieniveau) en kwantitatief worden geanalyseerd.

3. Karakterisering van schimmeligemeenschappen in de rhizosfeer

Voor de analyse van schimmeligemeenschappen zal DGGE-analyse een eerste indicatie geven binnen welke groepen gericht gezocht moet gaan worden. Op dit gebied heeft de business unit Biointeracties en Plantgezondheid (PRI) al veel ervaring. Oligonucleotide fingerprinting van rRNA-genen is ook hier een optie (Valinsky *et al.*, 2002). Bezien zal worden in hoeverre deze benadering een aanzienlijk deel van de Nederlandse bodemschimmeldiversiteit dekt. Mogelijkerwijs zal een additionele sequencing-inspanning nodig zijn om na te gaan waar publieke schimmel DNA-data aangevuld moeten worden. Gebruik makend van schimmelspecifieke primers (o.a. Borneman en Hartin, 2000) zullen lacunes voor wat betreft bodemschimmel DNA-sequenties worden aangevuld. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van zeer uitgebreide schimmelcultuurcollectie van het CBS (KNAW, Utrecht). Op basis van publieke en additionele rDNA-data, kunnen bodemschimmeligemeenschappen op familieniveau geanalyseerd worden.

4. Data analyse – hoe vind je de speld in de hooiberg?

Een groot deel van de biotische levensgemeenschap wordt in kaart gebracht. De omvang van de dataset die met deze benadering gegenereerd wordt, maakt dat geavanceerde methoden moeten worden gebruikt voor data-analyse. Op dit moment lijken Fuzzy Neural Networks (FNN) het meest aangewezen systeem om verbanden te ontwaren in een systeem waarin het veronderstelde signaal gesuperponeerd is op de resultante van een aanzienlijk aantal niet weerbaarheid gerelateerde achtergrondvariabelen. Een neurale netwerk is een zelf-lerend systeem dat leert door 'trial and error'. Wat is de betekenis van 'fuzzy' in dit verband? Met 'fuzzy data' worden kwantitatieve data-intervallen of -klassen bedoeld. Een bepaald bodemorganisme kan bijvoorbeeld niet, weinig (1 - 100), gemiddeld (100 – 500) of vaak (500-1500) voorkomen in een monster. Fuzzy-data kunnen op deze manier worden opgeslagen. Dit type data wordt geanalyseerd met behulp van fuzzy algebra, een superset van standaard algebra.

5. Mechanismen die ten grondslag liggen aan specifieke weerbaarheid

Na vastgesteld te hebben welke (groepen van) organismen verantwoordelijk zijn voor algemene en specifieke bodemweerbaarheid ten aanzien van plantenparasitaire aaltjes, zal nader mechanistisch onderzoek gedaan worden aan de specifieke weerbaarheid. Deze vorm van weerbaarheid is immers overdraagbaar.

In praktische termen: deze vormen van weerbaarheid zou je kunnen formuleren en op het gewenste moment/op de gewenste plek inbrengen. Bij onderliggende mechanismen kan bij bacteriën en schimmels gedacht worden aan secundaire metabolieten met nematocidewerking, maar ook aan tritrofe relaties waarbij plant en schimmel/bacterie samen via signaalstoffen de nematoden eerst lokken en dan doden (lure & kill) zoals ook al is aangetoond voor een schimmel-plant combinatie die een plaaginsect in de val lokt (Kepler *et al.*, 2006). Bij nematoden kan daarnaast sprake zijn van specifieke prooi – predatorrelaties waarbij het relevant is te weten hoe de predator de prooi vindt, en of hierbij plant en/of andere organismen een complexere trofische relatie aangaan om de predatoren specifiek te lokken zoals aangetoond door Van Tol *et al.*, (2001) en Rasmann *et al.*, (2005) voor twee verschillende insect-plaag combinaties in de bodem.

6. Sturing en management van bodemweerbaarheid

Het huidige project zal merkers/indicatoren opleveren voor zowel algemene als specifieke weerbaarheid van bodems. Het effect van maatregelen op bodemweerbaarheid zal vervolgens getoetst kunnen worden met behulp van de ontwikkelde indicatoren voor bodemweerbaarheid. Afhankelijk van de uitkomsten van het onder 3.3 beschreven mechanistische onderzoek kunnen maatregelen geselecteerd worden waarvan de effectiviteit getoetst gaat worden. Bijvoorbeeld het doen toenemen van bepaalde toxines, het zorgen voor productie/wegvangen lokstoffen etc. Daarnaast maken deze indicatoren het mogelijk dat we nu voor het eerst de zin en/of onzin van huidige ‘trial and error’ and ‘common sense’ maatregelen kunnen vaststellen. Immers, we kennen nu de belangrijkste biotische spelers en deze zijn kwantitatief te monitoren met DNA-barcodingtechnologie. Dit betekent bijvoorbeeld dat we het effect van een brede range aan compost-achtige producten die tegenwoordig op de markt verschijnt, kunnen checken.

Daarnaast zal het identificeren van groepen bodemorganismen die verantwoordelijk zijn voor algemene en specifieke weerbaarheid logischerwijs leiden tot ‘tailor-made’ beheers- en/of managementmaatregelen. Ook is het mogelijk om maatregelen te toetsen op hun effect op de bodemindicatoren en na te gaan onder welke randvoorwaarden ze de weerbaarheid in positieve zin beïnvloeden. Dit levert praktijkmaatregelen op waarbij gedacht kan worden aan het effect van groenbemesters, compost, biologische grondontsmetting etc.

Bijlage 4.

Dwarsverbanden met een aantal lopende onderzoekprojecten/programma's

1. SenterNovem IS043076 getiteld Lux in Terra

Partners: Blgg b.v. (Oosterbeek), Bioclear b.v. (Groningen), Lab. Nematologie (Wageningen Universiteit)

Lux in Terra beoogt de ontwikkeling van moleculaire tools voor de kwantitatieve analyse van nematodengemeenschappen.

Raakvlak met Bodem Vitaal!: een aantal moleculaire tools voor wat betreft de detectie van nematodenfamilies in milieumonsters zullen rechtstreeks gebruikt kunnen worden in het voorgestelde project.

2. Ecogenomics - Assessing the living soil; an ecogenomics approach to explore and unlock sustainable life-support functions of soils

Partners: Bioclear B.V., Groningen, Vrije Universiteit (VU), Amsterdam, Wageningen University (WU), Plant Research International B.V. (PRI), Wageningen, Alterra B.V., Wageningen, KNAW-Netherlands Institute of Ecology (NIOO-KNAW), Heteren/Nieuwersluis, National Institute for Public Health & Environment (RIVM), Bilthoven, Royal Haskoning B.V. Den Bosch, Microscreen B.V., Groningen

Ecogenomics richt zich voornamelijk op bio-remediation van bodems. Met andere woorden welke maatregelen kunnen genomen worden om de bodemfauna en -flora in complex vervuilde bodems te herstellen. Anders dan bij het hier voorgestelde project is de metagenoombenadering – beschouw het biotisch deel van de bodem als een groot genoom – sterk vertegenwoordigd binnen dit project.

Raakvlak met Bodem Vitaal!: binnen dit project wordt binnen een van de onderdelen gewerkt aan bodemweerbaarheid ten aanzien plantenpathogene bacteriën en schimmels. Plantenparasitaire nematoden worden hier niet in beschouwing genomen. Met name op het gebied van monsternamen en -mogelijkerwijs - data-analyse zijn hier raakvlakken. Daarnaast kan een aantal technieken die binnen Ecogenomics zijn ontwikkeld, evenals sommige deelresultaten, worden toegepast.

3. LNV-programma BO-Plantgezondheid

Partners: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. (PPO), Lelystad en Lisse en Plant Research International B.V. (PRI), Wageningen

Bodemweerbaarheid in rotaties met aardappel (Korthals). Onderzoek naar integreerbare teeltmaatregelen tegen het wortelstelselaaltje *Pratylenchus penetrans* bij akkerbouwgewassen en lelie binnen één gewasrotatie.

Raakvlak met Bodem Vitaal!: dit project heeft een liaisonfunctie m.b.t. case 1. Dit project kan weerbare gronden aanleveren waarin onderzoek aan de onderliggende mechanismen zal plaatsvinden. Daarnaast zouden sturingsmethodieken die vanuit het voorgestelde Bodem Vitaal! worden ontwikkeld in volgende rotaties kunnen worden uitgetest.

4. LNV-project Topsoil biotoetsen

Partners: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO), Lisse en Plant Research International B.V. (PRI), Wageningen
Topsoil+ ontwikkelt een maatschappelijk geaccepteerd en economisch en milieukundig duurzaam bedrijfssysteem specifiek voor de sierteelt op duinzandgronden in een dichtbevolkte en stedelijke omgeving. Topsoil+ zoekt een nieuwe aanpak voor het niet-chemische beheer van de bodemweerbaarheid. Met aanvullende financiering vanuit de Kennisbasis is in 2005 een onderzoek gestart waarin het effect van de verhoging van het organische-stofgehalte op de ziektevering tegen een aantal ziekten met biotoetsen te toetsen. Zo worden in een perceel met verschillende niveaus organische stof, in rotatie met vaste planten, biologische beheersstrategieën toegepast. Met lelie als toetsplant wordt de ontwikkeling van bodemweerbaarheid met *Pratylenchus* als ziekteverwekker jaarlijks gemeten.

Raakvlak met Bodem Vitaal!: Dit project sluit nauw aan bij Case 1.

5. KB4: Multiplex kwantificatie van microbiële genen voor de bepaling van bodemweerbaarheid

Partners: Plant Research International B.V. (PRI), Wageningen

Het project behelst de identificatie van relevante genen vanuit het metagenoom (kloneren en screening van bodem-DNA in fosmide banken); het opzetten van kwantitatieve detectiemethoden om genen in de bodem te detecteren. Mogelijkheden zijn ontwikkeling van microarray's en/of kwantitatieve PCR. Bodemonsters worden geanalyseerd met de nieuw ontwikkelde technieken en bestaande microarray's.

Raakvlak met Bodem Vitaal!: binnen dit project wordt gewerkt aan bodemweerbaarheid ten aanzien planten-pathogene bacteriën en schimmels. Plantenparasitaire nematoden worden hier niet in beschouwing genomen. Een aantal binnen dit project ontwikkelde technieken, evenals sommige deelresultaten, kunnen worden toegepast.

6. Actieplan Aaltjesbeheersing van het Hoofd Productschap Akkerbouw

In 2005 is op initiatief van het Hoofdproductschap Akkerbouw het Actieplan Aaltjesbeheersing opgezet. Zowel het HPA (voor de akkerbouw) als het Productschap Tuinbouw (voor de vollegrondsgroenten) hebben fondsen beschikbaar gesteld om in de periode tot en met 2008 gezamenlijk activiteiten uit te voeren die aaltjesproblemen in akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen beter beheersbaar moeten maken. Het Actieplan is in overleg met de betrokken partijen uit de sectoren akkerbouw, vollegrondsgroenten- en bollenteelt tot stand gekomen.

Binnen het Actieplan voeren diverse partijen gezamenlijk onderzoek- en voorlichtingsprojecten uit op het gebied van aaltjesbeheersing. Belangrijkste doelstelling daarbij is de continuïteit te waarborgen van teelten voor de Nederlandse land- en tuinbouw. Er moet voldoende areaal beschikbaar blijven om zonder aaltjesproblemen vermeerderingsmateriaal te telen en in andere teelten moet (economische) schade door aaltjes worden voorkomen of geminimaliseerd. De nadruk ligt op het beschikbaar krijgen en maken van praktische handvatten op basis van aanwezige en nieuw te ontwikkelen kennis.

Raakvlak met Bodem Vitaal!: maatregelen die worden ontwikkeld ter verbetering van de bodemweerbaarheid krijgen hun plek binnen de groep van aanvullende maatregelen van de aaltjesbeheersingsstrategie. Spin off in de vorm van inzicht in schaderelaties tussen aaltjes en gewassen en moleculaire detectiemethoden voor plantparasitaire soorten zullen het Actieplan ondersteunen.

Bij de uitwerking en inrichting van het voorgestelde programma Bodem Vitaal! worden nog verdere dwarsverbanden gelegd binnen de organisaties van de auteurs om aansluiting met nog niet genoemde andere programma's te verkrijgen, en wordt samenwerking gezocht met andere instellingen, zoals NIOO-KNAW, RUG, en het Louis Bolk Instituut.

Bijlage 5.

Mogelijke bijdrage Bodem Vitaal! aan natuurontwikkeling

Een goede bodemvitaliteit kan een bijdrage leveren aan natuurontwikkeling. Naar verwachting zullen bij een goede bodemgezondheid betere natuurresultaten worden gerealiseerd en zullen natuurresultaten ook sneller worden gerealiseerd bij omvorming van landbouwgronden in gronden met als hoofdfunctie natuur.

De economische effecten van een goede bodemvitaliteit zijn echter moeilijk in beeld te brengen. Hoe waardeer je een beter natuurresultaat bij een goede bodemvitaliteit (ten opzichte van een huidige situatie) en hoe waardeer je een snellere realisatie van je natuurdoelen als gevolg van een goede bodemvitaliteit?

Om bovenstaande vraag te beantwoorden kun je de volgende redenering volgen:

Voor het berekenen van de economische gevolgen van een beperkte bodemkwaliteit kun je uitgaan van drie mogelijkheden:

- de bodemvitaliteit heeft geen effect op de te behalen natuurdoelen
- door verbetering van de bodemvitaliteit worden natuurdoelen gehaald die anders niet gehaald zouden worden
- door verbetering van de bodemvitaliteit worden natuurdoelen sneller gerealiseerd.

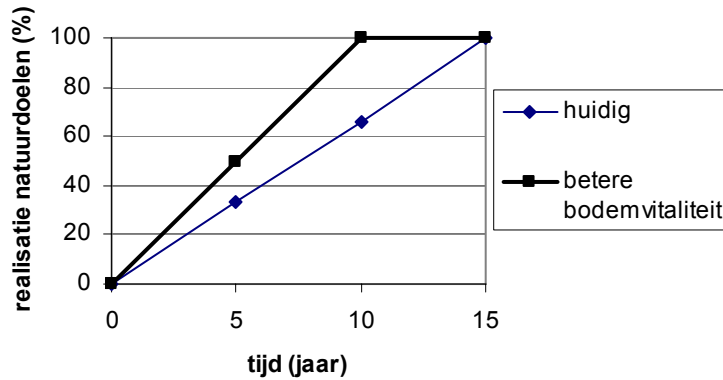
In deze voorbeeldberekening gaan we uit van het volgende:

- We gaan uit van een grondprijs van $\text{k€ } 30 \text{ ha}^{-1}$ voor aan te kopen grond. Voor gronden die in particulier beheer worden omgevormd tot natuur gaan we uit van $\text{k€ } 24 \text{ ha}^{-1}$ (de overheid vergoedt de particulier 80% van de waarde van de grond). Daarnaast gaan we uit van een bedrag voor inrichting van $\text{k€ } 7 \text{ ha}^{-1}$ en een rentevoet van 4%. Tenslotte gaan we uit van jaarlijkse beheerkosten van $\text{€ } 400 \text{ ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$.
- Verder gaan we ervan uit dat, bij een verminderde bodemvitaliteit, naast natuur, ook recreatie en landschapsdoelen in gelijke mate verminderd worden gerealiseerd. We gaan er ook van uit dat de extra kosten voor het verbeteren van de bodemvitaliteit opwegen tegen verminderde kosten voor reguliere maatregelen in de natuur.

Bij de eerste optie zijn er geen economische effecten. In dit geval is de bodembiodiversiteit al goed of zijn andere factoren beperkend voor het (snel) realiseren van het gewenste natuurresultaat.

Bij de tweede optie worden door een betere bodemvitaliteit natuurdoelen gehaald die anders maar ten delen worden gehaald. Als we er van uitgaan dat voor een deel van de nieuw in te richten natuur in dit geval de realisatie van natuurdoelen met 10 procentpunt kan worden verhoogd (b.v. van 80% realisatie onder de huidige bodemomstandigheden naar 100% realisatie onder omstandigheden met een goede bodemvitaliteit), dan betekent dit een toegevoegde waarde van $\text{€ } 9400 \text{ ha}^{-1}$ resp. $\text{€ } 8200 \text{ ha}^{-1}$ (particulier natuurbeheer) van de natuur voor de betreffende arealen.

Bij de derde optie kunnen de gewenste natuurdoelen sneller behaald worden. In de onderstaande figuur is de realisatie van de natuurdoelen in de tijd weergegeven. Het verschil is bepaald door het oppervlak tussen de beide lijnen. Op basis van de bovenstaande aannamen (bij de tweede optie) en de aanname dat het natuurresultaat bij een betere bodemvitaliteit vijf jaar eerder wordt behaald, is berekend wat eenmalig $\text{€ } 4700 \text{ ha}^{-1}$ resp. $\text{€ } 4100 \text{ ha}^{-1}$ (particulier natuurbeheer) toevoegt aan de waarde van de natuur voor de betreffende arealen.



Voor realisatie van de EHS (exclusief de robuuste verbindingsszones) betekent dit het volgende:

Eind 2005 (bron: Natuurbalans 2006) was 48.106 ha nieuwe natuur ingericht. In de periode tot 2018 dient nog ca. 63.000 ha nieuwe natuur te worden ingericht. Daarnaast dient nog ca. 39.000 ha in particulier natuurbeheer te worden genomen.

Als we ervan uit gaan dat een verbetering van de bodembiodiversiteit alleen van invloed is op deze nog nieuw te realiseren natuur en als we er tegelijkertijd van uitgaan dat in 50% van de nieuwe natuur er geen waarneembare effecten van bodembiodiversiteit zullen zijn, in 40% van de gevallen de gewenste natuurkwaliteit eerder wordt gerealiseerd en in 10% van de gevallen een hogere natuurkwaliteit wordt gerealiseerd betekent dit:

- voor de realisatie van de 63.000 ha nieuwe natuur eenmalig een batenpost van ca. 178 miljoen euro;
- voor de realisatie van 39.000 ha particuliere natuur eenmalig een batenpost van ca. 96 miljoen euro.

Bijlage 6.

Geciteerde literatuur

- Bongers T. and Ferris H. 1999.
Nematode community structure as a bio-indicator in environmental monitoring. *TREE* 14: 224-228.
- Borneman, J. and R. Jack Hartin. 2000.
PCR Primers That Amplify Fungal rRNA Genes from Environmental Samples. *Applied and Environmental Microbiology* 66 (10): 4356-4360.
- Brodie, Eoin L., Todd Z. DeSantis, Dominique C. Joyner, Seung M. Baek, Joern T. Larsen, Gary L. Andersen, Terry C. Hazen, Paul M. Richardson, Donald J. Herman, Tetsu K. Tokunaga, Jiamin M. Wan, and Mary K. Firestone. 2006.
Application of a High-Density Oligonucleotide Microarray Approach To Study Bacterial Population Dynamics during Uranium Reduction and Reoxidation. *Applied and Environmental Microbiology* 72 (9): 6288-6298.
- Folman, LB, Postma, J, van Veen, JA. 2003.
Characterisation of *Lysobacter enzymogenes* (Christensen and Cook 1978) strain 3.1T8, a powerful antagonist of fungal diseases of cucumber. *Microbiological Research*. 158(2): 107-115
- Fujii, Yoshiharu, Akihiro Furubayashi and Syuntaro Hiradate. 2005.
Rhizosphere soil method: a new bioassay to evaluate allelopathy in the field. Abstract. Fourth World Congress in Allelopathy held at Charles Sturt University (CSU), Wagga Wagga, NSW Australia from 21 - 26 August 2005.
- Garbeva, P., Postma, J., van Veen, JA, van Elsas, JD. 2006.
Effect of above-ground plant species on soil microbial community structure and its impact on suppression of *Rhizoctonia solani* AG3. *Environmental Microbiology* 8(2): 233-246.
- Holterman M, van der Wurff A, van den Elsen S, *et al.*, (2006).
Phylum-wide analysis of SSU rDNA reveals deep phylogenetic relationships among nematodes and accelerated evolution toward crown clades. *Molecular Biology and Evolution* 23, 1792-1800.
- Kepler, RM and Bruck, DJ 2006.
Interaction between the black vine weevil (Coleoptera: Curculionidae) and an entomopathogenic fungus reveals a new tritrophic interaction. *Environmental Entomology* 35: 1021-1029.
- Mazzola, M. 2004.
Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annual Review of Phytopathology*. 42:35-39.
- Rasmann, S., T. G. Köllner, J. Degenhardt, I. Hiltbold, S. Töpfer, U. Kuhlmann, J. Gershenzon, and T. C. J. Turlings. 2005.
Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature* 434: 732-737.
- Yin, Bei, Valinsky, Lea, Gao, Xuebiao, Becker, J Ole, Borneman, James. 2003a.
Identification of fungal rDNA associated with soil suppressiveness against *Heterodera schachtii* using oligonucleotide fingerprinting. *Phytopathology* 93(8): 1006-1013.
- Yin, Bei, Valinsky, Lea, Gao, Xuebiao, Becker, J Ole, Borneman, James. 2003b.
Bacterial rRNA genes associated with soil suppressiveness against the plant-parasitic nematode *Heterodera schachtii*. *Applied and Environmental Microbiology*. 2003; 69(3): 1573-1580.
- Van Tol, RWHM, Van der Sommen, ATC, Boff, MAI, Van Bezooijen J, Sabelis, MW and Smits, PH 2001.
Plants protect their roots by alerting the enemies of grubs. *Ecology Letters* : 292-294.
- Valinsky, Lea, Della-Vedova, Gianluca, Jiang, Tao, Borneman, James. 2002a.
Oligonucleotide fingerprinting of rRNA genes for analysis of fungal community composition. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002; 68(12): 5999-6004.
- Valinsky, Lea, Della-Vedova, Gianluca, Scupham, Alexandra J. Alvey, Sam, Figueroa, Andres, Yin, Bei, Hartin, R Jack, Chrobak, Marek, Crowley, David E, Jiang, Tao, Borneman, James. 2002b.
Analysis of bacterial community composition by oligonucleotide fingerprinting of rRNA genes. *Applied and Environmental Microbiology*. 68(7): 3243-3250.

Weller, David M., Raaijmakers, Jos M., McSpadden Gardener, Brian B., Thomashow, Linda S.

Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol.* 2002. 40: 309-48.