

***Weerbare bodem in het
kader van functionele
agrobiodiversiteit (FAB)***

*Inventarisatie van bestaande
methoden en werkplan 2009*

*Marleen Zanen & Merijn Bos (LBI)
Gerard Korthals & Leendert
Molendijk (PPO-agv)*





Productschap Tuinbouw

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van Productschap Tuinbouw, in het kader van het project 12091.02, Weerbare bodem; meten van algemene bodemgezondheid in het kader van functionele agrobiodiversiteit (FAB II).

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

Contact:

Marleen Zanen (LBI)

m.zanen@louisbolk.nl

© 2009 Louis Bolk Instituut

Weerbare bodem in het kader van functionele agrobiodiversiteit (FAB), Inventarisatie van bestaande methoden en werkplan 2009. Auteurs: Marleen Zanen & Merijn Bos (LBI), Gerard Korthals & Leendert Molendijk (PPO-agv). Januari 2009.

Voorwoord

Deze publicatie is geschreven in het kader van het project “Weerbare bodem in het kader van functionele agrobiodiversiteit (FAB)”, gefinancierd vanuit het Productschap Tuinbouw. Dit project is inhoudelijk onderdeel van FAB II, wat mogelijk wordt gemaakt door het Ministerie van LNV, het Ministerie van VROM, Productschap Akkerbouw en de Rabobank.

Vanuit de sector groeit het besef dat de chemische benadering van ziekten en plagen haar grenzen begint te bereiken. Het optreden van ziekten en plagen in de vollegrondsgroententeelt is vaak gerelateerd aan de conditie van de bodem. Positieve en negatieve bodemorganismen, zoals aaltjes en schimmels, bepalen voor een deel de gezondheid van de bodem en de risico's wat betreft opbrengstderiving. Een belangrijke vraag vanuit de sector is hoe de huidige gezondheidstoestand van de bodem is vast te stellen en hoe de effecten van maatregelen op de ontwikkeling van bodemgezondheid te meten zijn.

Zowel vanuit het Productschap Tuinbouw als vanuit FAB II wordt een duurzaam gebruik van de bodem gestimuleerd. Indicatoren waarmee de bodemkwaliteit in beeld kan worden gebracht zijn sterk in ontwikkeling en vanuit de praktijk is er behoefte aan kennis over te nemen maatregelen. Het voorliggende rapport bevat de gegevens van een inventarisatie (deskstudie) van het thema ziekteverendheid en methoden om de weerbaarheid van de bodem, zowel chemisch, fysisch als biologisch in kaart te brengen. Een onderdeel van deze studie was het in kaart brengen van de kansen en knelpunten in de aardbeienteelt in de vollegrond op bedrijven op zandgrond in Noord-Brabant. Naast discussie met de begeleidingscommissie en het FAB-deskundigenoverleg, werden hiervoor 8 aardbeientelers bezocht en geïnterviewd en verschillende deskundigen uit de regio geraadpleegd. Twee workshops tijdens de landelijke FAB dag op 14 januari j.l. werden benut om de begripsvorming te verifiëren en knelpunten en kansen vanuit een breed publiek in beeld te brengen.

Directe bijdragen aan de voorliggende studie werden geleverd door (in alfabetische volgorde): Mark van Aert, Toon van den Berg, Henk Doornbosch, Jean van Gennip, Henny van Gulp, Jos van Hamont, Mari van den Heuvel, Peet de Krom, Jan van Meer, Jan Pertijs, Harrie Pijnenburg, Jan Robben, Jan Rombouts en Sjoerd Smits, waarvoor dank.

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Algemeen	9
1.2 Doelstelling en afbakening	9
1.3 Aanpak	9
1.4 Ambitieniveau	10
2 Begripsvorming bodem	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Bodemkwaliteit	11
2.3 Bodemgezondheid	11
2.4 Ziektewerendheid	13
2.5 Van een weerbare bodem naar ecosysteemdiensten	14
2.6 Literatuur	16
3 Inventarisatie van methoden voor het meten van biologische bodemkwaliteit	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Microbiële indicatoren	19
3.3 Macrobiële indicatoren	23
3.4 Bodemprocessen	25
3.5 Bodemprofiel beoordeling	27
3.6 Biofotoetsen om ziektewerendheid aan te tonen	27
3.7 Literatuur	28
4 Maatregelen ter vergroting van de weerbaarheid van de bodem	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Aanvoeren van organisch materiaal	29
4.3 Bodembewerking en opbouw	32
4.4 Samenvatting	33
4.5 Literatuur	34
5 Chemische en fysische grondontsmettingstechnieken	37
5.1 Natte grondontsmetting	37
5.2 Granulaire nematiciden	37
5.3 Biologische grondontsmetting	37
5.4 Biofumigatie	37
5.5 Inundatie	38
5.6 Stomen	38
5.7 Andere fysische technieken	38
5.8 Literatuur	39

6	Kenmerken van de onderzoeksregio	41
6.1	Bodems in Noord Brabant	41
6.2	Vollegrondsteelt in Noord Brabant	42
6.3	Bodemgebonden ziekten en plagen op aardbei, sperzieboon en prei	43
6.4	Vollegronddaardbeienteelt in Noord-Brabant	44
6.5	Literatuur	45
7	Werkplan 2009	47
7.1	Inleiding	47
7.2	Meting van de bodemgezondheidstoestand op praktijkbedrijven	47
7.3	Opzet Vredepeel	48
7.4	Communicatieplan	50
	Bijlage 1: Vragenlijst interviews	51
	Bijlage 2: Interviews in de regio	53
	Bijlage 3: Verslag van de workshop Bodem tijdens de landelijke FAB-dag op 14 januari 2009 te Bunnik	59
	Bijlage 4: Maatregelen ter verbetering van bodemgezondheid op Vredepeel	61

Samenvatting

De chemische benadering van ziekten en plagen in de land- en tuinbouw begint haar grenzen te bereiken, mede door regelgeving maar ook door het groeiende besef van duurzaamheid in de sector en bij consumenten. In de glastuinbouw zijn reeds belangrijke resultaten geboekt met biologische beheersing van ziekten en plagen door de functionele benutting van reeds aanwezige of te introduceren biodiversiteit. Deze methoden zijn in de open teelten echter nog moeilijk controleerbaar omdat veel minder condities stuurbaar en beheersbaar zijn. Het optreden van ziekten en plagen in de vollegrondsgroententeelt is vaak gerelateerd aan de conditie van de bodem: Positieve en negatieve bodemorganismen, zoals aaltjes en schimmels, bepalen voor een deel de gezondheid van de bodem en de risico's wat betreft opbrengstderving.

Een belangrijke vraag vanuit de sector is hoe de huidige gezondheidstoestand van de bodem is vast te stellen en hoe de effecten van maatregelen op de ontwikkeling van bodemgezondheid te meten zijn. Met het project "Weerbare Bodem" gaan we dieper op die vraag in. Het project wordt uitgevoerd in het kader van "Functionele Agrobiodiversiteit" (FAB-II) in de vollegrondsgroententeelt. Het project is onderverdeeld in drie fasen: 1) een inventarisatie van bestaande meetmethoden en de voorbereiding van het veldwerk, 2) het meten van bodemparameters en bodemweerbaarheid op praktijkbedrijven en op proefbedrijf Vredepeel, en 3) toepassen en testen van praktische bedrijfsmaatregelen om de bodemweerbaarheid te verhogen.

Deze deskstudie is onderdeel van de eerste fase van het project waarin een overzicht van de literatuur wordt gegeven wat betreft de wetenschappelijke stand van zaken omtrent de weerbaarheid van landbouwgronden, hoe die te meten is en via welke maatregelen we hem kunnen verhogen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen "bodemkwaliteit" wat zowel fysische, chemische als biologische aspecten omhelst, "bodemgezondheid" wat specifiek over de toestand van biologische aspecten gaat, en "ziektewerendheid" wat als een bodemeigenschap wordt beschreven waarbij door ecologische processen ziekten en plagen uit bodems geweerd worden. Er is een groot arsenaal aan methoden om de fysische, chemische en biologische toestand van bodems te meten. Zonder volledig te willen zijn, worden de belangrijkste methoden in deze deskstudie kort samengevat. De ecosysteemdiensten en bijbehorende indicatoren zoals die binnen het BoBI netwerk zijn samengesteld door het RIVM dienen daarbij als uitgangspunt.

De begeleidingscommissie van de Productschap Tuinbouw heeft aangegeven dat het thema "weerbare bodems" sterk leeft onder aardbeientelers, wat werd bevestigd in een reeks bedrijfsbezoeken in West- en Oost-Brabant. Middels die bedrijfsbezoeken, interviews en een landelijke workshop is vervolgens een beeld gevormd van hoe het thema leeft onder telers, adviseurs en onderzoekers in het algemeen en aardbeientelers in het bijzonder. Aan de hand van de resultaten is de bewoording van de deskstudie aangepast en is het werkplan voor de tweede projectfase ingevuld.

De aardbeienteelt wordt gekarakteriseerd door continueelt waardoor risico's op bodemgebonden ziekten en plagen relatief groot zijn en de weerbaarheid van het gewas over het algemeen beperkt is. Chemische grondontsmetting met behulp van Monam®, met name tegen aaltjes, en chemische bestrijding van ziekten en plagen op het gewas

worden door de meeste telers gezien als noodzakelijk kwaad. Alle geïnterviewden waren het erover eens dat een goede teelt begint bij een goede kwaliteit van de bodem. De manier waarop telers vervolgens invulling geven aan die overtuiging loopt uiteen van systemen gebaseerd op gerichte bemesting met kunstmest en grondontsmetting om de vijf jaar tot biologisch-dynamische teeltsystemen zonder grondontsmetting en met zoveel mogelijk aanvoer van organisch materiaal. Ondanks de tegenstrijdigheid van een grondontsmetting enerzijds en benutting van functionele agrobiodiversiteit anderzijds is de diversiteit in aanpak tussen bedrijven veelbelovend en biedt als zodanig aanknopingspunten voor de tweede en derde fase van het project.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

De land- en tuinbouw ontwikkelen zich naar intensievere en complexere bedrijfssystemen. Vanuit de sector groeit het besef dat de chemische benadering van ziekten en plagen haar grenzen begint te bereiken. In de glastuinbouw zijn belangrijke resultaten geboekt met biologische beheersing van plagen. Het gaat daarbij om de functionele benutting van de reeds aanwezige (of te introduceren) biodiversiteit. In de open teelten is een dergelijke benadering veel moeilijker omdat veel minder condities stuurbaar en beheersbaar zijn. Vanuit de sectorcommissies en begeleidingscommissie uit de sector (Nijkerk, 8 februari 2008) is desondanks de wens uitgesproken om te werken vanuit een benadering van Functionele Agrobiodiversiteit (kortweg "FAB-benadering"). Het optreden van ziekten en plagen in de vollegrondsgroententeelt is vaak gerelateerd aan de conditie van de bodem. Positieve en negatieve bodemorganismen, zoals aaltjes en schimmels, bepalen voor een deel de gezondheid van de bodem en de risico's wat betreft opbrengstderving. Een belangrijke vraag vanuit de sector is hoe de huidige gezondheidstoestand van de bodem is vast te stellen en hoe de effecten van maatregelen op de ontwikkeling van bodemgezondheid te meten zijn. Met het project Weerbare Bodem hopen we op die vraag een antwoord te vinden.

1.2 Doelstelling en afbakening

Het algemene doel van het project Weerbare Bodem is de validatie en het praktijkrijp maken van een meetmethode om de bijdrage van bedrijfsmaatregelen (als toevoegingen van bijvoorbeeld organische stof) op de weerbaarheid van de bodem in kaart te brengen. We richten ons daarbij op het vernieuwen van de aanpak voor (niet-chemisch) beheer van bodemgezondheid en bodemstructuur in vollegrondsgroententeelten op zand.

Uitvoeringsactiviteiten in het veld zullen plaatsvinden op vollegrondsgroentebedrijven op lichte zandgrond in Noord-Brabant. Aanvullend wordt gebruik gemaakt van het liggende proefveld op proeflocatie Vredepeel. Fundamenteel onderzoek valt buiten de doelstelling. We richten ons vooral op algemene ziekteverendheid van de bodem. Dit vanuit het gezichtspunt dat het onderzoek voor een zo breed mogelijke groep van vollegrondsgroentetelers aansprekend moet zijn.

1.3 Aanpak

De projectaanpak is onderverdeeld in drie fasen:

- Fase 1: een inventarisatie van bestaande meetmethoden en de voorbereiding van het veldwerk (waarvan de resultaten in dit rapport).
- Fase 2: de fase waarin enerzijds de bodemweerbaarheid van een geselecteerde groep praktijkbedrijven in beeld wordt gebracht via biotoetsen en het meten van bodemparameters en bedrijfsgegevens en anderzijds metingen worden verricht in een geselecteerd bedrijfssysteem op proefbedrijf Vredepeel (hoofdstuk 7).
- Fase 3: toepassen en testen van praktische bedrijfsmaatregelen om de bodemweerbaarheid te verhogen.

1.4 *Ambitieniveau*

Er is sprake van een brede en complexe vraag en in verhouding een beperkt budget, kortom het project heeft een hoog ambitieniveau. In de uitvoering moeten daarom steeds keuzes worden gemaakt tussen diepgang enerzijds en aansprekendheid en zichtbaarheid van de activiteiten anderzijds. Centraal staat het met praktische maatregelen werken aan een weerbare bodem.

2 *Begripsvorming bodem*

2.1 *Inleiding*

Als we het hebben over een 'goed' of 'duurzaam' beheer van agrarische bodems wordt daarbij een veelheid aan termen gebruikt. In het kader van duurzaamheid en het benutten van functionele agrobiodiversiteit (FAB) hebben de termen betrekking op kwaliteiten en/of functies van de bodem. Bodemkwaliteit is de meest algemene term die biologische, chemische en fysische componenten omvat. Een verwaarlozing van de chemische en/of fysische component maakt de plant kwetsbaar waardoor ziekten en plagen een grotere impact krijgen. Een gezonde bodem begint dan ook altijd met aandacht voor de drie b's: bouwplan, bewerking en bemesting. Bodemgezondheid is een nauwer begrip dat beschreven kan worden vanuit de ecosysteem benadering. Ziekteverendheid treedt nog een stapje verder in detail en heeft uitsluitend betrekking op het vermogen van bodems om, ondanks de aanwezigheid van pathogenen of plantparasitaire aaltjes, de gewasschade beperkt te houden. Omdat de begrippen bodemkwaliteit, bodemgezondheid en ziekteverendheid nogal eens door elkaar heenlopen worden ze hieronder in perspectief geplaatst.

2.2 *Bodemkwaliteit*

Bodemkwaliteit (*soil quality*) staat voor de capaciteit van een bodem om plantaardige en dierlijke productie, water- en luchtkwaliteit, alsmede volksgezondheid en -welzijn te waarborgen. In het Nederlandse beleid ligt daarbij de nadruk op duurzame bodemkwaliteit voor huidige en toekomstige generaties. Vooral de functionaliteit van de bodem voor de mens staat daarin dus centraal. In het kort betekent bodemkwaliteit "hoe goed een bodem datgene doet wat wij willen dat hij doet" (Janvier et al. 2007). Afhankelijk van de functie die de samenleving aan een bodem toewijst, kunnen de belangrijkste criteria om bodemkwaliteit te beoordelen nogal verschillen, variërend van draagkracht tot waterbergend vermogen, CO₂ vastlegging of nutriëntengehalte, maar ook wering van ziekten en plagen.

2.3 *Bodemgezondheid*

Bodemgezondheid (*soil health*) is een specifiek begrip dan bodemkwaliteit. Terwijl bodemkwaliteit is op te splitsen in biologische, chemische en fysische componenten, wordt bodemgezondheid primair bepaald door biologische componenten. Bodemgezondheid vormt een onderdeel van het concept 'ecosysteem gezondheid'. Ecosysteem gezondheid wordt vaak verbonden aan de begrippen die expliciet uit de ecologie komen: stabiliteit en zelfregulatie, activiteit, veerkracht, zelforganisatie en biodiversiteit (Costanza en Mageau 1999). In het kader op de volgende pagina worden deze begrippen uitgelicht en wordt de achtergrond ervan beschreven. De begrippen afzonderlijk hebben hun beperkingen in het gebruik, maar door de combinatie kan meer inzicht verkregen worden in de achtergrond van bodemgezondheid.

Bodemgezondheid onderverdeeld in ecologische begrippen

Stabiliteit en zelfregulatie Gezondheid is meer dan de afwezigheid van ziekte: het is ook het vermogen om adequaat te reageren op verstoringen en stress, en effectief een evenwichtssituatie te herstellen. Dit laatste wordt in de ecologie zelfregulatie of 'homeostase' genoemd: het vermogen om telkens opnieuw naar een evenwichtssituatie terug te keren (Baars 2005). In een bodemecosysteem zijn de microbiële populatie en soortensamenstelling echter zelden stabiel, maar reageren continu op verstoringen en stress in hun omgeving. In die zin is stabiliteit een beperkt begrip om een ecosysteem te beschrijven (Van Bruggen en Semenov 2000).

Activiteit Volgens Costanza en Mageau (1999) is de activiteit van een systeem een uitdrukking van het metabolisme of de primaire productie van het systeem. De hypothese die daaraan ten grondslag ligt, is dat de mogelijkheid van een systeem om te herstellen van stress gerelateerd is aan het totale metabolisme of de hoeveelheid energie die door een systeem beweegt.

Veerkracht In sommige ecosystemen zijn onder gezonde omstandigheden meerdere evenwichtssituaties mogelijk waartussen een ecosysteem kan fluctueren (Walker et al. 1997; Scheffer et al. 2001). Om dit fenomeen te verklaren wordt het concept 'veerkracht' gebruikt (Holling 1973). Ecologische veerkracht is niet per definitie gelijk aan stabiliteit, omdat veerkracht juist van belang is in situaties die ver verwijderd zijn van de stabiele evenwichtstoestand zoals bijvoorbeeld "goede bodemkwaliteit". In de context van duurzaam bodemgebruik wordt een hoge veerkracht in het algemeen als gunstig gezien. Een systeem met weinig veerkracht schiet bij een verstoring (bijvoorbeeld door chemische ontsmetting) gemakkelijk door in de richting van een ander evenwicht.

Zelforganisatie De organisatie van een systeem verwijst naar het aantal en de diversiteit van de interacties tussen de verschillende organismen die deel uitmaken van een ecosysteem. Een maat voor de organisatie van een systeem is het aantal soorten dat daarin voorkomt, maar ook het aantal interacties tussen die soorten. Het organisatieniveau neemt af als er minder soorten bij betrokken zijn en als de verbindingen en uitwisseling tussen organismen in het systeem afneemt. Het begrip zelforganisatie gaat dus verder dan alleen diversiteit, omdat het ook de uitwisseling tussen soorten omhelst (Costanza en Mageau 1999).

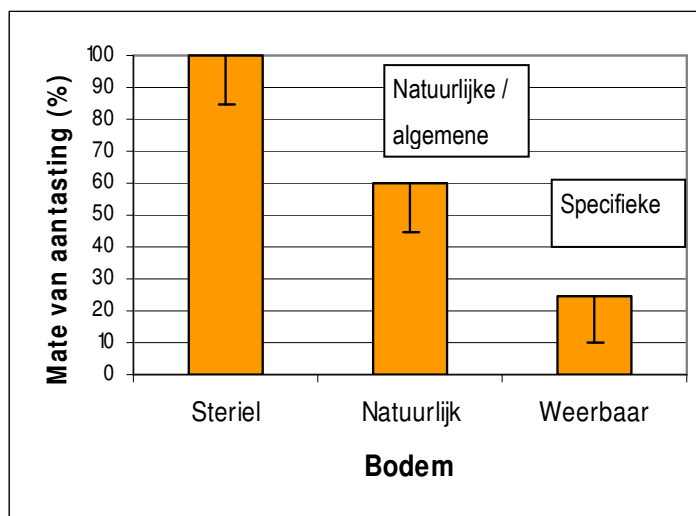
Biodiversiteit In het algemeen wordt verondersteld dat hoe meer interacties er tussen organismen in een ecosysteem zijn, des te stabiel het systeem is. De complexiteit en specificiteit van interacties is direct gerelateerd aan de soortenrijkdom van een ecosysteem. Hoe groter de biodiversiteit, des te stabiel het systeem, en hoe waarschijnlijker het is dat de verschillende ecosysteemfuncties gehandhaafd kunnen worden. In een gezonde bodem wordt verondersteld dat er een functionele 'overtolligheid' aanwezig is, zodat het systeem snel kan herstellen van stress, ook als daarbij een gedeelte van het bodemleven geëlimineerd wordt.

2.4 Ziektewerendheid

Ziektewerendheid (*soil suppressiveness*) is het verschijnsel dat een pathogeen of parasiet veel minder schade (aan de planten) aanricht dan op grond van de gemeten populatiedichtheid verwacht mag worden (Janvier et al. 2007). Door een samenspel van biotische en abiotische factoren blijft zelfs bij aanwezigheid van schadeverwekkers de opbrengstderving op ziektewerende bodems beperkt. Er wordt verondersteld dat natuurlijke (biodiverse) bodems een algemene (of 'natuurlijke') weerstand tegen bodempathogenen (zie Fig 2.1) kennen. Een grote biodiversiteit van bodemflora en -fauna die de voortplanting van bodempathogenen afremt, zou een mogelijke verklaring zijn.

2.4.1 Algemene- en specifieke ziektewerendheid

We onderscheiden twee typen ziektewerendheid: algemene ziektewerendheid en specifieke ziektewerendheid. Algemene ziektewerendheid komt voort uit de diversiteit en activiteit van het bodemleven. Door onderlinge concurrentie om ruimte en voedingsstoffen wordt uitbreiding van schadelijke organismen afgeremd en is de omvang van een aantasting geringer dan in een steriele grond (Fig 2.1). Voor algemene ziektewerendheid is geen specifiek organisme aan te wijzen dat ten grondslag ligt aan de verminderde schadegevoeligheid, maar spelen meerdere factoren een rol. Bij specifieke ziektewerendheid gaat het om een beperkt aantal antagonisten (tegenstrevers) dat in staat is één of een aantal schadeverwekkers in een bepaald gewas in toom te houden bijvoorbeeld via predatie of door het uitscheiden van antibiotica. Deze specifieke werendheid is in principe zowel stuurbaar als overdraagbaar, mits we het mechanisme van dit beperkt aantal antagonisten in de complexe omgeving begrijpen (Weller 2002).



Figuur 2.1: Het principe van ziektewerendheid in relatie tot aantasting van gewassen.

2.4.2 Voorbeelden uit de praktijk

Landbouw betekent per definitie een forse ingreep in een natuurlijk ecosysteem. Grondbewerking, bemesting, monoculturen en een beperkt aantal gewassen in de rotatie brengen met zich mee dat het ecosysteem op een landbouwperceel van een geheel andere orde is dan die van een 'ongestoord' natuurlijk systeem. Maar ook vanuit de Nederlandse akkerbouwpraktijk kennen we voorbeelden waar binnen een dergelijk verstoord systeem toch ziekteverendheid tot ontwikkeling komt (zie kader op de volgende pagina).

De meeste voorbeelden berusten op specifieke ziekteverendheid veroorzaakt door een antagonist tegen één schadeverwekker. Veel van de antagonisten zijn zo gespecialiseerd dat ze zich alleen handhaven bij hoge besmettingsniveaus van de gastheer. Er ontstaat uiteindelijk wel een stabiel opbrengstniveau maar dat is voor Europese begrippen zo laag dat terugvallen op dat opbrengstniveau economisch niet acceptabel is. Onderzoek naar geschikte natuurlijke belagers vindt op bescheiden schaal plaats maar heeft nog niet geleid tot inzetbare producten. Ziekteverendheid van de bodem is een erkend fenomeen maar het ontbreekt nog aan sturingsmogelijkheden om de teler bedrijfszekere oplossingen te bieden. Een planmatige aanpak van de bodemgezondheid gestoeld op preventie, gerichte vruchtwisseling samen met aanvullende maatregelen, blijft daarom een noodzakelijke basis voor de bedrijfsvoering. Onderzoek moet er aan bijdragen de ervaringen in kaart te brengen en de mechanismen te ontrafelen zodat de teler concrete sturingsmogelijkheden krijgt.

2.5 Van een weerbare bodem naar ecosysteemdiensten

De Technische Commissie Bodembescherming (TCB) adviseert een ecosysteembenadering om tot een duurzamer bodemgebruik in Nederland te komen (Technische Commissie Bodembescherming 2003). Het begrip "ecosysteem gezondheid" staat centraal waarbij de TCB stelt dat de gezondheid van ecosystemen afgeleid kan worden uit begrippen als stabiliteit, veerkracht en organisatie. Aangezien deze begrippen niet rechtstreeks omgezet kunnen worden in meetbare indicatoren, vertaalt de TCB het begrip bodemgezondheid naar het functioneren van ecologische diensten: eigenschappen of processen van het ecosysteem die van nut zijn voor de mens. Daarmee verschuift de definitie van 'bodemgezondheid' sterk in de richting van 'bodemkwaliteit'. Het verschil met de definitie van bodemkwaliteit is dat de 'diensten' of 'functies' nadrukkelijk vanuit ecologische principes geformuleerd zijn. De belangrijkste groepen van functies zijn te onderscheiden in bodemvruchtbaarheid, weerstand tegen stress, adaptatie, buffer- en reactorfuncties en biodiversiteit (Rutgers et al. 2005).

In het kader van de ecosysteemdiensten is in het bodembioologische indicator project (BoBI) de afgelopen jaren gewerkt aan een instrumentarium om bodemparameters te meten die van belang zijn voor deze bodemdiensten. De 200 meetpunten binnen het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit liggen voor 90% op agrarische bedrijven. De basis van BoBI is een voedselwebanalyse waarmee een verband gelegd kan worden tussen diversiteit van het bodemleven en ecologische functies zoals stikstofmineralisatie en bodemstructuurvorming (Schouten et al. 2002).

Voorbeelden van ziekteverende bodems in de Nederlandse vollegrond

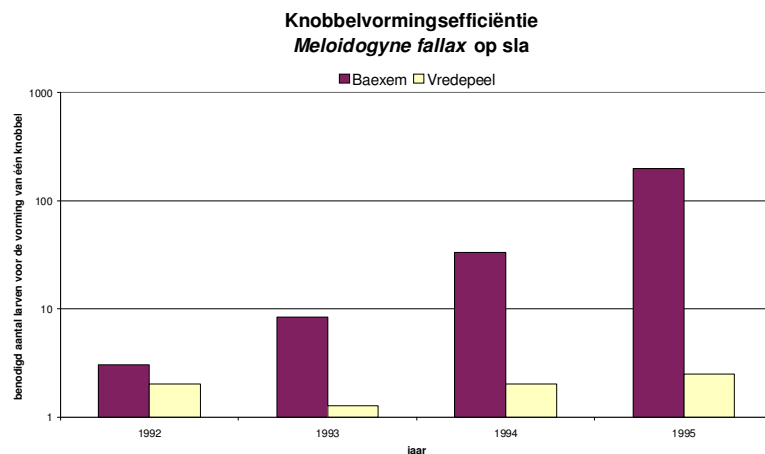
Continueteelt bloemkool onderdrukt *Rhizoctonia solani* In de continueteelt van bloemkool in Noord-Holland blijkt de ziektegevoeligheid voor *Rhizoctonia solani* af te nemen. Juist wanneer bloemkool in een ruimere rotatie zit wordt de plantgevoeligheid voor aantasting sterker. Postma et al. 2005 hebben aangetoond dat de schimmel onder controle wordt gehouden door een bacterie (*Lysobacter* spp). In ruimere rotaties kan deze bacterie de concurrentie niet aan.



Foto: Bloemkool met links *Rhizoctonia solani* toegevoegd aan een weerbare grond en rechts aan een controle grond, resulterend in een groot verschil in plantwegval (bron: Postma en Schilder 2005).

Verticillium parasiteert bietencystealtjes Suikerbieten onderzoek van het IRS heeft laten zien dat de schimmel *Verticillium chlamyosporium* de eieren van bietencystealtjes zo sterk kan parasiteren dat aaltjesdruk terugloopt (Heijbroek 1983). Helaas ontstaat dit controlemechanisme pas nadat er in enkele oogsten opbrengstverliezen zijn opgetreden. Het lukt tot op heden niet deze schimmels preventief te introduceren in percelen en zo de zware oogstverliezen te voorkomen.

Verminderde infectie van wortelknobbelaaltjes Op het PAGV proefveld te Baexem waren er in 1995 vijftig keer zoveel maïswortelknobbel-aaltjes nodig om nog één knobbel op een slawortel te veroorzaken dan vijf jaar eerder (Molendijk 2002). Tegelijkertijd trad dit fenomeen op locatie Vredepeel niet op. Waarschijnlijk heeft de bodem in de loop van die van jaar weerbaarheid ontwikkeld tegen de aaltjes.



Figuur 2.2: Knobbelvormingsefficiëntie van *Meloidogyne fallax* op sla te Baexem en Vredepeel (1992-1995).

2.5.1 Referenties voor biologische bodemkwaliteit

In de door het RIVM ontwikkelde Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB; Schouten et al. 2005) is een combinatie van beschikbare informatie uit het BoBI meetsysteem en de beoordelingen van bodemexperts gebruikt om voor elke combinatie bodemtype en landgebruik een "optimale situatie" te formuleren. Een combinatie van bodemtype en landgebruik kan bijvoorbeeld zijn "akkerbouw op zand" of "grasland op klei".

Bij het vaststellen van de referenties is uitgegaan van de kwaliteit van het voedselweb, onder andere bepaald naar aanleiding van de verhoudingen tussen prooien en natuurlijke vijanden. Daarnaast is ook een hoge biodiversiteit als voorwaarde genomen voor een gezonde bodem. De samenstelling van het optimale systeem wordt vervolgens als 'referentiebeeld' gebruikt voor duurzaam bodemgebruik op een bepaald bodemtype. Deze "referenties" zijn gedefinieerd aan de hand van 25 indicatorwaarden zoals bacteriële biomassa, potentiële C-mineralisatie en extraheerbare fosfaat (P-AI) (Rutgers et al. 2007).

Door de RBB-systematiek ontstaan kwaliteitsbeelden voor een "goede" bodem. De referentiebeelden leveren uiteindelijk 'streefwaarden' op voor de 25 bodemparameters die als indicator zijn aangewezen. Voor elke ecosysteemdienst geldt een andere combinatie van indicatorparameters die gemeten moeten worden en ook andere waarden die in Rutgers et al. 2007 voor 10 combinaties van bodemtype en landgebruik gepubliceerd zijn. Deze benadering is een goed aanknopingspunt gebleken om ecosysteemdiensten van bodems te beoordelen, maar zal nog wel bijgesteld gaan worden aan de hand van nieuwe bevindingen (Smeding et al. 2008).

Indicatoren die één op één gecorreleerd zijn met ziekteveroorzaking van de bodem zijn nog niet voor handen. Het onderzoek in het kader van dit project is er op gericht dergelijke indicatoren te vinden.

2.6 Literatuur

Baars E. 2005. **De bijdrage van de antroposofische eerstelijnszorg aan de vermindering van de 'Burden of disease' in Nederland. Een explorerende pilotstudy.** Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Bruggen AHC. van en Semenov AM. 2000. **In search of biological indicators for soil health and disease suppression.** Applied Soil Ecology 15, pp. 13-24.

Bruggen AHC. van, Semenov AM en Zelenev VV. 2002. **Wave-like distributions of infections by an introduced and naturally occurring root pathogen along wheat roots.** Microb. Ecol. 44:30-38.

Costanza R en Mageau M. 1999. **What is a healthy ecosystem?** Aquatic Ecology 33, pp. 105-115.

Heijbroek W. 1983. **Some effect of fungal parasites on the population development of the beet cyst nematode (Heterodera schachtii Schm.)** Med. Fac. Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent, 48:2, 433-439.

Holling CS. 1973. **Resilience and stability of ecological systems.** Annual Review of Ecological Systems, 4: 93-110.

Mazzola M. 2004. **Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression.** Annual Review of Phytopathology. 42:35-39.

- Molendijk L. 2002. **Biologische landbouw [is niet gelijk aan] bodemweerstand - Aaltjes en de biologische landbouw [Gewasbescherming]**. - In, BIOM: Biologisch bedrijf onder de loep : 'biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt in perspectief'. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving 303, pp. 121-128.
- Mulder C, Wijnen HJ van, Hollander HA den, Schouten AJ, Rutgers M en Breure AM. 2004. **Referenties voor bodemecosystemen: evaluatie van functies en ecologische diensten**. RIVM report 607604006/2004, Bilthoven.
- Papert A., Kok C.J. & Molendijk L.P.G. 1998. **Natural decline of *Meloidogyne fallax* at its type location**. Nematologica 44 5; p 553.
- Postma J. en Schilder M.T. 2005. **Bodemweerbaarheid tegen *Rhizoctonia solani* AG 2-1 in bloemkool**. Gewasbescherming 36: 208-211.
- Rutgers M, Mulder C, Schouten AJ, Bogte JJ, Breure AM, Bloem J, Jagers op Akkerhuis GAJM, Faber JH, Eekeren N van, Smeding FW, Keidel H, Goede RGM de en Brussaard L. 2005. **Typeringen van bodemecosystemen. Duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit**. RIVM report 607604007/2005, Bilthoven.
- Rutgers M, Mulder C en Schouten AJ. 2007. **Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit**. RIVM rapport 607604008/2007
- Scheffer M, Carpenter SR, Foley JA, Folke C en Walker B. 2001. **Catastrophic shifts in ecosystems**. Nature 413, 591-596.
- Schouten AJ, Bloem J, Didden W, Jagers op Akkerhuis G, Keidel H en Rutgers M. 2002. **Bodembioologische Indicator 1999. Ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond**. RIVM report 607604003/2002, Bilthoven.
- Smeding F, Zanen M en Schouten T. 2008. **Bodemkwaliteit Drenthe – 1-jarige pilot Referenties Biologische Bodemkwaliteit**. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Technische Commissie Bodembescherming. 2003. **Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag**. Den Haag, pp. 94.
- Walker BH, Langridge JL en McFarlane F. 1997. **Resilience of an Australian savannah grassland to selective and non-selective perturbations**. Australian Journal of Ecology, 22: 125-135.
- Weller DM, Raaijmakers JM, Gardener BBM, Thomashow LS. 2002. **Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens**. Annual Review of Phytopathology 40: 309-348.

3 Inventarisatie van methoden voor het meten van biologische bodemkwaliteit

3.1 Inleiding

Naast het leveren en vasthouden van nutriënten en het bijdragen aan een goede bodemstructuur, is het onderdrukken van ziekten en plagen één van de belangrijke functies van het bodemleven (Rutgers et al. 2005). De bodemparameters die gebruikt kunnen worden om die bodemfuncties in beeld te brengen zijn in internationale workshops samengesteld (NERI 2001; Swift en Bignell 2001) en aan de situatie in Nederland aangepast (Rutgers et al. 2007) en getoetst (Smeding et al. 2008). Vanuit de werkgroep Bodem Biologische Indicatoren (BoBI) is in dialoog tussen diverse belangengroeperingen, bodemexperts en bodemlaboratoria een engere selectie gemaakt van indicatoren na beoordelingen op het vlak van betrouwbaarheid, efficiëntie en kosten (Tabel 3.2). In de volgende paragrafen behandelen we de biotische (micro- en macrobiële) en abiotische (chemische en fysische) indicatoren die deels ook in het kader van de "Referenties Biologische Bodemkwaliteit" (RBB) worden gebruikt en beschrijven enkele aanvullende methoden die ook inpasbaar zouden kunnen zijn.

3.2 Microbiële indicatoren

Om relaties te leggen tussen microbiëel bodemleven en bodemprocessen zijn microbiologische indicatoren in te delen in functionele groepen. Om een duidelijk en systematisch beeld te krijgen van de aanwezige micro-organismen in de grond, worden de aantallen kweekbare micro-organismen in een monster onderverdeeld in zes functionele groepen die de belangrijkste groepen schimmels en bacteriën omvatten (Tabel 3.1).

Tabel 3-1: Functionele microbiële groepen, kenmerken en indicatorwaarde

Functionele groep	Kenmerk	Indicatorwaarde
Aërobe (heterotrofe) bacteriën	Gebruiken O ₂	Algemene bodemtoestand
Anaërobe bacteriën (denitrificatie)	Kunnen zonder O ₂	Hoge aantallen wijzen op slechte doorluchting
Stikstofbindende bacteriën	Binden N ₂ uit de lucht	Voeden het gewas
Actinomyceten	Breken complexe verbindingen af	Dragen bij aan structuurvorming
Pseudomonaden	Veelzijdig	Afbraak humuszuren en synthetische pesticiden, ziektevering
Bodemschimmels	Zuurder, O ₂ rijk milieu	Afbraak cellulose, lignine, pectine Opbouw structuur

Tabel 3-2: Lijst van biotische en abiotische indicatoren voor het in beeld brengen van de bodemgezondheid in akker- en tuinbouwgronden (Bron: Rutgers et al. 2007). Asteriksen (*) geven de verwachte nauwkeurigheid van de indicator aan (*=laag, **=hoog, ?=nieuwe indicator, waarde nog onbekend) voor de drie ecosysteemdiensten.

Indicator	Eenheid	Nutriënten retentie en levering	Bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	Ziekten en plaagwering
Microbiële indicatoren				
Bacteriebiomassa	µg C/gram droge grond	****	***	***
Bacterieactiviteit	Picomol C per gram droge grond per uur	***	***	**
Microbiële diversiteit		**	**	****
Functionele microbiële activiteit	µg droge grond	****	***	**
Functionele microbiële diversiteit		***	***	***
Schimmelbiomassa	µg C/gram droge grond	****	****	***
Macrobiële indicatoren				
Nematoden dichtheid	Aantal/100g verse grond	***	***	****
Nematoden diversiteit	Soorten/100g verse grond	****	***	***
Potwormen dichtheid	Aantal/m ²	***	***	****
Potwormen diversiteit	Soorten/m ²	**	***	**
Regenwormen dichtheid	Aantal/m ²	****	****	****
Regenwormen diversiteit	Soorten/m ²	***	***	***
Micro-arthropoden dichtheid	Aantal/m ²	***	***	***
Micro-arthropoden diversiteit	Soorten/m ²	***	***	***
Biodiversiteit totaal: Helling allometrische M-N regressie		**	***	****
Biodiversiteit totaal (aantal soorten)		***	***	***
Abiotische parameters				
Zuurgraad	pH	***	***	***
Organische stof	% gewicht/gram droge grond	***	****	***
Wateroplosbaar fosfaat (Pw)	mg P ₂ O ₅ /liter	***	***	***
Extraheerbaar fosfaat (P-Al)	mg P ₂ O ₅ /100g droge grond	***	***	***
Lutum	% gewicht/gram droge grond			
Potentiële C-mineralisatie	mg gemineraliseerde C/kg/week mg CO ₂ /100 g droge grond/week	*	*	***
Potentiële N-mineralisatie (netto)	mg gemineraliseerde N/kg/week	***	*	****
Potentieel mineraliseerbare N (bruto)	mg gemineraliseerde N/kg grond	?	?	?
N-mineralisatie/mineraliseerbare N		?	?	?

3.2.1 *Microbiële diversiteit en activiteit*

Onder microbiëel bodemleven verstaan we: bacteriën, schimmels en protozoën (eencellige). De diversiteit in Nederlandse bodems is enorm en microbiële activiteit speelt een belangrijke rol in veel bodemfuncties. Bacteriën en schimmels breken organisch materiaal af en zorgen voor het vrijmaken en/of binden van nutriënten. Daarnaast verbeteren ze de bodemstructuur en hebben een rol in de weerbaarheid van de bodem. Protozoën hebben vooral een regulerende functie in de populatieopbouw van schimmels en bacteriën. Micro-organismen komen praktisch overal voor. In een theelepeltje zwarte grond zitten al enkele miljarden bacteriën, verdeeld over tienduizenden soorten waarvan de meeste nog niet door de wetenschap zijn beschreven.

Met DGGE (*denaturant gradiënt gel electroforese*)- en TGGE (*temperatuur gradiënt gel electroforese*)-technieken wordt de biodiversiteit van de totale microbiële populatie in een monster gemeten. Scheiding van soort-specifiek 16S-rDNA op een gel levert populatiespecifieke genetische 'vingerafdrukken' op, waarbij het aantal bandjes een maat is voor de diversiteit. Voor zeldzame en langzaamgroeiende soorten kan met behulp van specifieke Polymerase Chain Reactions (PCR) het DNA van de organismen waarin we geïnteresseerd zijn eerst vermeerderd worden, waarna middels verdunningsseries kwantificering mogelijk wordt (MPN-PCR). Die techniek maakt het gelijktijdig aantonen van verschillende groepen bacteriën in een monster mogelijk. Vooral bij slecht kweekbare of langzaam groeiende bacteriën zoals anaërobe sulfaatreducerende of methaan vormende bacteriën is MPN-PCR nodig voordat een DGGE of TGGE wordt uitgevoerd.

Een maat voor microbiële activiteit is de *potentiële C-mineralisatie*. Hierbij wordt het zuurstofverbruik (of CO₂-productie) gemeten als gevolg van biologische oxidatie van organische stof door aerobe micro-organismen. De bodemademhaling is positief gecorreleerd met het organische stof gehalte en vaak met de microbiële biomassa en microbiële activiteit. De methode vereist over het algemeen relatief lange incubaties, zeker in gronden waarin geen grote hoeveelheden gemakkelijk afbreekbare organische verbindingen zitten. Het meten van de CO₂ productie is het gevoeligst, eenvoudig en goedkoop. De ademhaling hangt sterk af van temperatuur, vocht, nutriënten en bodemstructuur. Voorbereiden en standaardisatie van de monsters vóór het inzetten van de metingen is erg belangrijk.

Het meten van de bodemademhaling alleen geeft vaak onvoldoende inzicht in het functioneren van de bodemmicro-organismen. De specifieke ademhalingsnelheid (metabolic quotient, qCO₂) geeft de snelheid van microbiële ademhaling weer per eenheid microbiële biomassa. In het algemeen neemt deze snelheid af in oudere gronden en is deze hoog wanneer het bodemecosysteem onder stress staat.

3.2.2 *Bacteriële biomassa, diversiteit en activiteit*

Bacteriële biomassa kan middels microscopie geschat of door middel van biochemische analyses gemeten worden. De microscopische methode is de eenvoudigste waarbij in een verdund deelmonster de bacteriën geteld en gemeten worden. Door terugrekenen kan daaruit de biomassa in het oorspronkelijke monster geschat worden in microgrammen koolstof per gram droge grond.

Biochemische methoden om bacteriële biomassa in bodems te bepalen zijn divers.

- Analyse van de fosfolipide vetzuren (*phospholipid fatty acid, PLFA*) geeft informatie over biomassa in de bodem, de schimmel-bacterie verhouding, biodiversiteit, maar ook het voorkomen van sleutel-organismen. Afzonderlijke PLFAs kunnen gerelateerd worden aan een microbiële gemeenschapsamenstelling. De methode geeft een moleculaire “vingerafdruk” van de relatieve PLFA samenstelling van de aanwezige microbiële gemeenschap (dus ook schimmels en protozoën). De methode is gevoelig, reproduceerbaar en geeft in situ informatie, maar kost veel tijd. Volgens Pennanen (2001) is de methode gedetailleerder dan de veelgebruikte BIOLOG™ methode.
- Bij de *chloroform fumigatie incubatie (CFI)* en *chloroform fumigatie extractie (CFE)* methoden worden de micro-organismen in de grond gedood. Na toevoeging van grond uit de oorspronkelijke bodem wordt de omvang van de gedode biomassa bepaald door meting van CO₂ uitstoot over een bepaalde incubatie periode (CFI) of door extractie (CFE) van extraheerbaar koolstof (afkomstig van de gedode biomassa). De CO₂ na fumigatie is afkomstig van kiemende sporen van microben die gebruikmaken van de koolstof afkomstig uit gedode biomassa.
- De *substrate induced respiration (SIR)* is een meting van de basale ademhaling en biomassa in de bodem. SIR meet de geïnduceerde verandering in bodemademhaling na toevoeging van een eenvoudig af te breken substraat (bv glucose). Door gebruik te maken van een conversie-factor is de microbiële biomassa te berekenen. Een hoge CO₂ productie en verandering in bodemademhaling wijst op een hoge microbiële biomassa en daarmee mogelijk een gezondere bodem met een hogere weerbaarheid.
- *Inbouw van thymidine en leucine moleculen*. Elke bacteriecel heeft één DNA molecuul. De synthese van DNA in een bacterie-monster is dus een maat voor bacteriële vermeerdering, en de snelheid waarmee dat gepaard gaat is een maat voor bacteriële activiteit. DNA synthese kan aangetoond worden door de inbouw van thymidine in het bacteriële DNA omdat thymidine een uniek molecuul is dat alleen nodig is bij DNA synthese. Eiwitproductie in bacteriën is direct gerelateerd aan bacteriegroei en kan gemeten worden door inbouw van gelabeld leucine. Voor- en nadelen zijn gelijk aan de thymidine methode, al is de leucine meting mogelijk betrouwbaarder doordat het gehalte aan proteïnen hoger is dan het gehalte aan thymidine.

3.2.3 Schimmelbiomassa en diversiteit

De schimmelbiomassa is af te leiden uit tellingen en metingen van schimmeldraden onder een microscoop. De biomassa levende schimmels kan ook biochemisch gemeten worden aan de hoeveelheid ergosterol per eenheid grond. Ergosterol is een schimmel-specifiek membraan molecuul, wat echter niet bij alle schimmels voorkomt (niet bij oömyceten en verschillende gisten). Het aantonen van ergosterol is eenvoudiger dan de PLFA bepaling, maar er dient voor de volledigheid wel gelijktijdig een telling van hyphen lengte in de grond te worden gedaan. Dat is erg tijdrovend en lastig. Alternatieven zijn meting van fluorescent diacetaat hydrolyse activiteit (FDA) of N-acetyl-beta-glucosaminidase (Nag) activiteit als semi-kwantitatieve bepaling van bodemschimmel biomassa. Hiermee is geen onderscheid te maken tussen schimmels. De soortenrijkdom en functionele diversiteit van schimmels is het beste te bepalen met de DGGE-TGGE (zie boven) en BIOLOG™ (zie onder) methoden.

3.2.4 *Functionele microbiële diversiteit en activiteit*

Aantallen bacteriën en schimmels in grondmonsters variëren in relatie tot voedingsstoffen, zuurstof, vocht en predatoren en worden beïnvloed door temperatuur, zuurgraad en andere omgevingsfactoren. Het bekijken van de functionele groepen is een methode van bodemonderzoek om te kunnen zien in welke verhouding de micro-organismen aanwezig zijn en of er verschillen zijn tussen ziekteverwekkende en ziektegevoelige gronden. De zes functionele groepen zijn weergegeven in

Tabel 3-1.

De omzettingcapaciteit of *BIOLOGTM-methode* geeft inzicht in de diversiteit van omzettingfuncties van een microbiële gemeenschap in een bepaalde hoeveelheid grond. Deze methode is een fysiologische karakterisering waarbij gemeten wordt welke substraten in een gedefinieerd testsysteem kunnen worden omgezet. In dit systeem wordt gelijktijdig getest op omzetting van 31 verschillende substraten door één microbiële gemeenschap. Gemeten wordt de substraatomzetting-capaciteit ("logCFU50") en de diversiteitsparameter ("h-coëfficiënt"). Hieruit wordt berekend hoeveel grond er nodig is om 50% van de substraten af te breken ("gg50"). Hoe meer grond er nodig is om de omzetting te bewerkstelligen, des te beperkter is de diversiteit van functies. Op bosgronden is de functionele diversiteit duidelijk lager dan op landbouwgronden, en bedrijven op zeekei hebben een hogere omzettingcapaciteit dan bedrijven op zandgrond.

3.2.5 *Methoden voor het bepalen van de aanwezigheid van sleutelorganismen*

Onder de microscoop zijn door verschillende (kleurings)technieken micro-organismen direct te tellen. Dit is een zeer arbeidsintensieve methode en slechts voor een beperkt aantal organismen uit te voeren. Voor enkele organismen is een geautomatiseerd beeldanalyse systeem ontwikkeld waarmee routinematig tellingen zijn uit te voeren. De biomassa aan protozoa bijvoorbeeld is onder de microscoop niet vast te stellen, omdat de overgrote meerderheid inactief is.

De aanwezigheid van specifieke soorten schimmels, bacteriën en bacteriofagen (virussen) is op selectieve voedingsmedia aan te tonen. Het meten van vrije bacteriofagen in de grond met deze methode geeft een indicatie van de activiteit van specifieke bodembacteriën, aangezien deze virussen zich vermenigvuldigen in een specifieke gastheerbacteriën. Van veel bodembacteriën zijn de bacteriofagen bekend. Andere methoden meten slechts de activiteit van de gehele microbiële gemeenschap.

3.3 *Macrobiële indicatoren*

Naast microbiële indicatoren zijn er ook macrobiële indicatoren voor bodembiodiversiteit en bodemprocessen. Belangrijke organismen in dit verband zijn aaltjes (nematoden), potwormen (enchytraeën), regenwormen en micro-arthropoden (mijten en springstaarten). In deze paragraaf is al een keus gemaakt in de methoden ter bepaling van de macrobiële indicatoren en zijn de meest gangbare, betrouwbare en robuuste weergegeven.

In geval van bodemvervuiling is gebleken dat het aantal nematoden drastisch afneemt (Korthals et al. 1996). In een vergelijking van gangbare met biologische landbouw is de abundantie en het aantal taxa hoger bij biologisch

grondgebruik (Postma et al 2008; van Diepeningen et al 2006). Nematoden zijn gevoeliger voor chemische toepassingen dan voor mechanische bewerkingen en komen daardoor in hogere aantallen en taxa voor wanneer minder chemie gebruikt wordt.

Pot- en regenwormen komen over het algemeen meer voor in gezonde bodems, maar nemen in aantal af als de grondbewerkingsintensiteit toeneemt. Een bodem kan daarmee wel gezond zijn zonder dat de hoeveelheid wormen daar een maat voor is. Andersom kan wel gesteld worden dat een grote hoeveelheid wormen een maat is voor een gezonde bodem. Uit RIVM metingen is gebleken dat micro-arthropoden goede deelindicatoren zijn waaraan echter nog wel enkele praktische beperkingen hangen. Daarbij gedragen ze zich in een aantal opzichten schijnbaar tegengesteld aan andere indicatorgroepen. Voordeel is een eenvoudige en snelle monsternamen en extractie.

Er van uitgaande dat een hogere diversiteit en activiteit van het bodemleven het schadelijk optreden van plantpathogenen vermindert (zoals uit enkele onderzoeken naar voren komt), nemen we hier aan dat een hoge diversiteit en activiteit van het bodemleven een maat voor de ziekteverende capaciteit van een bodem is. Bepalen van aantal, soorten en massa aan nematoden, regen- en potwormen en microarthropoden is daarvoor een vereiste, aangevuld met de bepaling van dichtheid, aantal soorten, Maturity Index en functionele groepen van nematoden.

3.3.1 *Nematoden*

Nematoden maken nutriënten beschikbaar, reguleren het aantal bacteriën en schimmels en spelen een rol bij ziektevering. Nematoden komen in alle bodems voor. In 100 gram grond bevinden zich tussen 2000 en 10.000 nematoden, in een diversiteit van 20 tot 60 soorten (Rutgers et al. 2007). Van de 1200 soorten die in Nederlandse bodems aanwezig zijn is een relatief klein deel (ongeveer 50 soorten) potentieel schadelijk voor landbouwgewassen. Binnen onze landbouwsystemen maken ze het de telers soms wel zeer lastig.

Met de *Oostenbrink-methode* wordt een hoeveelheid grond in suspensie gebracht waardoor de nematoden van de gronddeeltjes worden losgespoeld. Vervolgens wordt de suspensie gezeefd om fijne lutum en organische deeltjes te verwijderen. Tot slot vindt scheiding van levende dieren en resterende gronddeeltjes plaats m.b.v. een wattenfilter. De nematoden kruipen hier actief doorheen en worden verzameld in een kleine hoeveelheid water. Het totale aantal nematoden in 100 g grond (abundantie) wordt geschat door 2 x 10% van de geëxtraheerde dieren te tellen. Vervolgens worden preparaten gemaakt om ca. 150 nematoden onder een lichtmicroscop te identificeren. Aan de hand van de voornaamste voedselbron worden functionele groepen onderscheiden: bacterie-etters, schimmel-etters, algen-etters, herbivoren, omnivoren en carnivoren. Een tweede ecologische indeling is de Maturity Index (MI) waarbij soorten worden ingedeeld op hun 'life history' (Bongers 1990).

Door het departement plantwetenschappen van de WUR wordt voor de karakterisering van nematodengemeenschappen gebruik gemaakt van "kenmerkende DNA handtekeningen" die afgeleid zijn van "Small Subunit ribosomaal DNA" (SSU rDNA) sequenties. Het Laboratorium voor Nematologie (WUR) heeft inmiddels wereldwijd de grootste SSU/LSU (L = large) rDNA database voor nematoden. Het vermogen om met behulp van deze gegevens 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., Oosterbeek.

3.3.2 *Pot- en regenwormen*

Pot- en regenwormen zorgen voor de afbraak van organisch materiaal en verbeteren de bodemstructuur door het graven van gangen en de vorming van bodemaggregaten. De meeste soorten pot- en regenwormen bevinden zich vooral in de bovenste 15 cm van de bouwvoor. Potwormen komen in vrijwel elke bodem voor en hun dichtheid varieert van enkele honderden tot een paar miljoen per vierkante meter. In Nederland komen ruim 50 soorten voor. Cijfers van regenwormenaantallen variëren van 0-1000 per vierkante meter. In Nederland zijn ongeveer 25 soorten bekend; slechts enkele zijn zeer algemeen.

Potwormen worden volgens een gemodificeerde natte extractie-methode (Didden 1991) geëxtraheerd uit een grondmonster. De potwormen worden geteld, opgemeten en eventueel gedetermineerd m.b.v. een lichtmicroscop. Er kunnen twee functionele groepen worden onderscheiden: 1) soorten van het geslacht *Fridericia* (binding aan vers strooisel en hebben een K-strategie) en 2) overige soorten (binding aan ouder organisch materiaal en hebben een r-strategie).

Regenwormen worden met de hand uit een hoeveelheid grond (20x20x20 cm) gezocht, geteld, gewogen en gedetermineerd. Volgens een veelgebruikte Franse indeling kunnen hier drie functionele groepen onderscheiden worden: Epigé's (epigeïsche soorten, voorkomend in strooisellaag, r-strategie), Endogé's (endogeïsche soorten, leven in de bodem, tussen r- en K-strategie) en Anéciques (anecische soorten, grote soorten, K-strategie).

3.3.3 *Microarthropoden (mijten en springstaarten)*

Mijten en springstaarten maken nutriënten beschikbaar, reguleren schimmel- en bacteriepopulaties en verbeteren de bodemstructuur door humus- en aggregaatvorming. Mijten en springstaarten komen in vrijwel elke bodem voor. Aantallen variëren van 40-120 duizend individuen per vierkante meter (Rutgers et al. 2007). In Nederland komen minstens 600 soorten voor.

Microarthropoden worden in een Tullgrenapparaat uit ongestoorde steekmonsters geëxtraheerd door geleidelijke uitdroging van bovenaf. De aan de onderkant in alcohol opgevangen microarthropoden worden vervolgens overgebracht op objectglazen met 10% melkzuur en na opheldering tot op soortniveau gedetermineerd. Deze soorten zijn in te delen in groepen naar voedselgilde of naar overlevingsstrategie. Grote spreiding in aantallen tussen steekmonsters van één perceel verkleint de kans op het vinden van statistische verschillen tussen percelen en gebiedt het steken van vele monsters per perceel. RIVM vond een trend in toename van aantal en soorten van biologische- naar intensieve bedrijven.

3.4 *Bodemprocessen*

De macro-elementen zoals koolstof (C), waterstof (H), zuurstof (O) en stikstof (N) zijn samen met energie de primaire dragers van het levende bodemsysteem. Ketens van koolstof vormen het skelet van de moleculen waaruit het leven

is opgebouwd. Door fotosynthese wordt water en CO₂ omgezet in suikers. De suikers worden omgezet in zetmeel, eiwit, etc. Via voedselwebben stromen de koolstof en energie door het ecosysteem om uiteindelijk weer te worden omgezet in CO₂ dat weer door planten wordt opgenomen. Aan de koolstofkringloop zijn ook de kringlopen van andere elementen gekoppeld.

3.4.1 Koolstofcyclus

Koolstof komt in de bodem terecht via het afsterven van planten, via uitscheiding door wortels of via compost en dierlijke mest. Met behulp van zuurstof leggen bodemorganismen koolstof vast in biomassa, een proces waarbij ook veel CO₂ vrijkomt. Afbraak van organische koolstof (C_{org}) tot CO₂ wordt ook wel C-mineralisatie genoemd. Het kan eenvoudig worden gemeten als bodemademhaling (respiratie). Onder zuurstofloze omstandigheden kan er ook methaan (CH₄) worden gevormd, een schadelijk broeikasgas. Methaanoxidatie wordt gemeten door een grondmonster in een gesloten vat te incuberen met methaan en afname van methaan te meten met gaschromatografie. De hiervoor verantwoordelijke methanotrofen kunnen ook direct gekwantificeerd worden door fluorescent in situ hybridisatie (FISH) of met standaard groeigerelateerde Most Probable Number (MPN) tellingen. Analyse kan ook met PCR-DGGE (16S rDNA methanotroof specifieke primers).

De hoeveelheid koolstof in de microbiële biomassa (C_{micro}) kan gerelateerd worden aan de totale hoeveelheid koolstof in organisch materiaal (C_{org}) door het microbiële quotiënt (C_{micro}/C_{org}). Dit is een maat voor de dynamiek van de organische stof en is een indicator voor koolstof verlies of accumulatie (Anderson et al. 1986). Het voorkomt het probleem van verschil in organische stof van verschillende gronden bij vergelijken van trends (Sparling 1997). De C_{org} en C_{micro} worden bepaald met de CFI, CFE en SIR methoden die beschreven staan onder §3.2.2.

Elke verandering in het bodemvoedselweb heeft gevolgen voor de afbraaksnelheid van de organische stof en dat beïnvloedt de beschikbaarheid en circulatie van de belangrijkste organisch gebonden nutriënten. Inzicht in de afbraaksnelheid is onmisbaar in het begrijpen van de beschikbaarheid en cyclus van de nutriënten. Door het begraven van plantenresten in een inerte nylonzak kan de afbraaksnelheid gemeten worden. Afbraak is gewichtsverlies per tijdseenheid. De fijnheid van het nylongaas bepaalt de groepen van micro-organismen die de afbraak in de afvalzak kunnen uitvoeren. Verticale positie in de grond en de tijdsinvallen dienen gestandaardiseerd te worden.

3.4.2 Stikstofcyclus

Stikstof komt in de bodem via bemesting, afgestorven plantenresten, binding door specifieke bacteriën en via depositie uit de lucht. Organische stikstof (N_{org}) wordt via het voedselweb afgebroken en uitgescheiden in minerale vorm als ammonium (NH₄) (N-mineralisatie). Nitrificerende bacteriën zetten ammonium via nitriet (NO₂) om in het veel mobieler en voor planten makkelijk opneembare nitraat (NO₃). Onder natte, zuurstofarme omstandigheden gaan veel bacteriën nitraat gebruiken voor hun ademhaling. Daardoor wordt NO₃ omgezet in N₂ (stikstofgas) en N₂O (lachgas). Dit proces heet denitrificatie.

De potentiële N-mineralisatie in bodems is een maat voor beschikbare stikstof in bodems en wordt gemeten als de hoeveelheid gemineraliseerde stikstof (NH₄) die in 6 weken in verse grond wordt geproduceerd. Het is een meting

van de netto N-mineralisatie, omdat immobilisatie en mineralisatie gelijktijdig verlopen. Het meten van de oxidatie van NH_4 werd verondersteld een methode met een groter onderscheidend vermogen te zijn wegens een veel geringer aantal aan bacteriën die in het proces meespelen. Recent onderzoek heeft uitgewezen dat dat niet zo is.

3.5 *Bodemprofiel beoordeling*

Een effectieve manier om inzicht te krijgen in de algehele conditie van de bodem is het graven van een profielkuil en het beoordelen van kluiten uit een perceel (Koopmans et al. 2005). Via deze visuele beoordeling kunnen indicatoren zoals bodemstructuur, worteling en activiteit van het bodemleven in samenhang worden beoordeeld. Het grote voordeel van een profielkuil is dat de waarnemingen snel en eenvoudig kunnen worden uitgevoerd en de resultaten meteen beschikbaar zijn. Nadeel van de methode is dat er nogal wat ervaring nodig is om tot een goede beoordeling te komen.

3.6 *Biotoetsen om ziekteverendheid aan te tonen*

Om de weerendheid van de bodem tegen ziekten experimenteel aan te tonen zijn biotoetsen ontwikkeld. De te toetsen grond wordt wel of niet extra besmet met de te toetsen ziekteverwekker of met aaltjes, waarna een gevoelige toetsplant (bijvoorbeeld vlas of *Arabidopsis*) gezaaid of geplant wordt. Indien geen of minder wegval of aantasting optreedt in het besmette materiaal, dan spreken we van weerbaarheid tegen de betreffende schadeverwekker. Op deze wijze kan bodemweerbaarheid aangetoond worden in verschillende plant-pathogeen combinaties.

Veel biotoetsen zijn gebaseerd op selectieve uitschakeling van het bodemleven in de te toetsen grond waarop vervolgens verdunningsreeksen van pathogenen of aaltjes worden toegevoegd. De mate van aantasting van het toetsgewas geeft vervolgens een beeld van in hoeverre verhoogde weerbaarheid met bodemleven samenhangt. Andere biotoetsen zijn erop gericht het infectieuze deel van het aanwezige inoculum in te schatten. Daartoe wordt de aantasting in de biotoets vergeleken met het resultaat uit andere diagnostische technieken. Voorbeelden zijn de sla biotoets voor *Meloidogyne hapla* en de bietenkiemplantentoets voor *Rhizoctonia solani*.

Infectiepotentieel Het infectiepotentieel is positief gerelateerd aan inoculumdichtheid en negatief aan bodemweerbaarheid. Door potten te vullen met een verdunningsreeks van de te toetsen grond en deze te betelen met een toetsplant, kan een inschatting gemaakt worden van de kwantiteit van het pathogeen in de grond, dat tot schade leidt. De uitslag is ook afhankelijk van een eventuele ziektevering die in de grond kan zijn opgebouwd. Door verschillende toevoegingen aan de te toetsen grond kan deze ziektevering ook omzeild worden, maar de inoculumdichtheid kan daarmee ook beïnvloed worden.

3.7 Literatuur

- Anderson TH, Domsch KH. 1986. **Carbon Assimilation and Microbial Activity in Soil**. Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde 149:457-68.
- Bloem J, Bolhuis PR. 2006. **Thymidine and leucine incorporation to assess bacterial growth rate**. In: Bloem, J. Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds), Microbial Methods for Assessing Soil Quality. CABI, Wallingrod, UK:142-9.
- Bongers T. 1990. **The Maturity Index - an Ecological Measure of Environmental Disturbance Based on Nematode Species Composition**. Oecologia 83:14-9.
- Didden WAM, Marinissen JCY, Kroesbergen B. 1991. **A Method to Construct Artificial Soil Cores from Field Soil with a Reproducible Structure**. Agriculture Ecosystems & Environment 34:329-33.
- Diepeningen AD van, de Vos OJ, Korthals GW, van Bruggen AHC. 2006. **Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils**. Applied Soil Ecology 31:120-35.
- Heuer H, Smalla K. 1997. **Evaluation of community-level catabolic profiling using BIOLOG GN microplates to study microbial community changes in potato phyllosphere**. Journal of Microbiological Methods 30:49-61.
- Holterman M, van der Wurff A, van den Elsen S, van Megen H, Bongers T, 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 23:1792-800.
- Korthals GW, Alexiev AD, Lexmond TM, Kammenga JE, Bongers T. 1996. **Long-term effects of copper and pH on the nematode community in an agroecosystem**. Environmental Toxicology and Chemistry 15:979-85.
- Pennanen T. 2001. **Microbial communities in boreal coniferous forest humus exposed to heavy metals and changes in soil pH - a summary of the use of phospholipid fatty acids, BiologReg and 3H-thymidine incorporation methods in field studies**. Geoderma . 2001; 100:91-126.
- Postma J, Schilder MT, Bloem J, van Leeuwen-Haagsma WK. 2008. **Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems**. Soil Biology and Biochemistry 40:2394-406.
- Rutgers M, Mulder C, Schouten AJ, Bloem J, Bogte JJ, et al. 2007. **Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit**. Bilthoven: RIVM.
- Sparling GP. 1997. **Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health**. In: Biological Indicators of Soil Health. Pankhurst, CE, BM Double and VVS Gupta (eds.). CAB International, pp. 97-119.
- Swift M, Bignell D. 2001. **Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice**, International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesië, ASB Lecture Note 6B.

4 Maatregelen ter vergroting van de weerbaarheid van de bodem

4.1 Inleiding

Bewust of onbewust manipuleren boeren de ecologie onder hun land, en beïnvloeden daarmee de kans op uitbraken van ziekten en plagen. In de afgelopen jaren is in de praktijk en de wetenschap de aandacht voor maatregelen die bodemgezondheid en weerbaarheid stimuleren toegenomen, vooral om alternatieven te ontwikkelen voor chemische grondontsmetting die aan steeds strengere regels gebonden is. In dit hoofdstuk beschrijven we een aantal maatregelen die het meest in verbinding worden gebracht met vergroting van de weerbaarheid van de bodem en hoe zij invloed uitoefenen op bodemgezondheid en ziekte- en plaagwering.

4.2 Aanvoeren van organisch materiaal

4.2.1 Compost

Compost is het product van gecontroleerde afbraak van organisch materiaal door voornamelijk bacteriën en schimmels, waarbij ziektekiemen gedood en organische stof gestabiliseerd worden. Compost op bouwland aanvoeren draagt bij aan het organische stofgehalte van de bodem, is voeding voor het bodemleven en is een maatregel die vaak aan ziekteverwering in bodems gerelateerd wordt (Bailey en Lazarovitz 2003).

Het mechanisme achter ziekte- en plaagwering door compost is hoofdzakelijk dat van algemene vering. Die ligt hem in het feit dat een divers en actief microbieel bodemleven gestimuleerd wordt dat van afgestorven plantaardig materiaal leeft en concurreert met microbieel bodemleven dat schade aan het gewas kan veroorzaken. Dit is wetenschappelijk bevestigd voor o.a. *Fusarium oxysporum* en *Rhizoctonia solani* (Janvier et al. 2007, Postma et al. 2008) maar is sterk afhankelijk van compostkwaliteit, het type ziekteverwekker en gewas, en van de fysisch-chemische bodemsamenstelling. In bodems die minder draagkracht voor bodemleven hebben (gekaracteriseerd door lage biomassa en respiratie) vindt bijvoorbeeld sneller concurrentie plaats (Termorshuizen et al. 2006). Compost stimuleert ook specifieke ziekte- en plaagwering, zij het in mindere mate. Door de hoge diversiteit aan microbieel leven in compost is de kans groot dat zich in de compost ook specifieke natuurlijke vijanden (*antagonisten*) van ziekten en plagen bevinden. Dit is bijvoorbeeld gesuggereerd voor vering van ziekteverwekkers als *Verticillium dahliae* (door *Pseudomonas* bacteriën), *Streptomyces scabies* (door onschadelijke *Streptomyces* soorten) en *Rhizoctonia solani* (door *Lysobacter* bacteriën) die in grote aantallen in compost kunnen voorkomen (Haas en Défago 2005, Postma et al. 2008).

Compost kan sterk in kwaliteit verschillen en dat beïnvloed de diversiteit aan effecten op ziekteverwering (de Ceuster en Hoitink 1999, Termorshuizen et al. 2006). Advisering rond het gebruik van compost voor ziekteverwering is daardoor moeilijk en vergt goede informatie over compostkwaliteit en factoren die de werking op ziekteverwering beïnvloeden. Compost uit plantaardig materiaal heeft vanwege de mineralenbalans de voorkeur boven compost uit mest. De Ceuster en Hoitink (1999) suggereren dat wortelrot veroorzakende *Phytophthora* en *Pythium* kunnen profiteren van de relatief hoge zoutgehalten in dierlijke mest. Ook de zuurgraad (pH) is een belangrijke factor in ziekteverwering omdat veel specifieke antagonisten een voorkeur hebben voor een bepaalde zuurgraad. De

koolstof : stikstof verhouding is belangrijk omdat bij een te lage ratio (= hoge stikstofgehalten, bijvoorbeeld in compost uit dierlijke mest) ziekten als *Phytophthora* gestimuleerd worden, terwijl bij een te hoge ratio (hoge koolstofgehalten, bijvoorbeeld bij compost met veel houtige plantenresten) te veel stikstof wordt vastgelegd zonder dat het beschikbaar komt voor het gewas (de Ceuster en Hoitink 1999). Composteerders gebruiken deze kennis om technieken te ontwikkelen om composten te produceren die ziektevering maximaliseren.

4.2.2 Vruchtwisseling

Bij vruchtwisseling volgen verschillende gewassen elkaar op. Vruchtwisseling is belangrijk voor het behoud van bodemstructuur en organische stof, bijvoorbeeld door rooi- en maaigewassen elkaar op te laten volgen en tussendoor gewasresten onder te werken. Over het algemeen geldt: Hoe ruimer de vruchtwisseling, des te sterker de positieve effecten ervan. Vruchtwisseling is van oudsher vooral gebruikt om ziekteverwekkers zoals schadelijke bacteriën, schimmels en aaltjes uit bodems te weren. Door gewassen in de rotatie op te nemen die niet voor dezelfde ziekteverwekkers vatbaar zijn, zijn de schadelijke organismen uitgehongerd voordat het volgende vatbare gewas geteeld wordt (Abawi & Widmer 2000). Dit werkt het beste bij ziekteverwekkers die voor overleving afhankelijk zijn van de aanwezigheid van passende, levende waardplanten. Ziekteverwekkers die ook van zeer veel waardplanten of afgestorven materiaal kunnen leven en soorten die efficiënte manieren hebben om lang zonder voedsel te overleven (bijv. *Rhizoctonia solani* en diverse aaltjes), zijn minder effectief te onderdrukken met alleen vruchtwisseling (Janvier et al. 2007).

Door met vruchtwisseling de dichtheden van ziekten en plagen laag te houden, is de kans groter dat algemene en bepaalde vormen van specifieke ziektevering in bodems een sterker effect hebben. Echter, sommige vormen van specifieke ziektevering ontwikkelen zich na jaren continueelt, en die kunnen dus juist verdwijnen door vruchtwisseling (Lamers en Westdijk 2005). Voor bloemkool wordt bijvoorbeeld continueelt zelfs aanbevolen omdat daardoor de natuurlijke vijanden van *Rhizoctonia solani* zich goed ontwikkelen.

4.2.3 Groenbemesters

De vruchtwisseling uitbreiden met groenbemesters kan uitkomst bieden bij de bestrijding van hardnekkige ziekten en plagen (Abawi en Widmer 2000; Timmer 2003). Groenbemesters worden na een hoofdgewas ingezaaid en voor het volgende hoofdgewas ondergewerkt. Met groenbemesters gebruikt de boer de herfst- en wintermaanden om in het voorjaar meer voedingsstoffen voor het volggewas vast te houden, waarbij bovendien de doorworteling aan bodemstructuur bijdraagt. De keuze van de groenbemester kan aangestuurd worden om bodemgebonden ziekten en plagen te weren. Bepaalde rassen van het Afrikaantje (*Tagetes patula*) kunnen bijvoorbeeld bodemaaltjes zoals het wortelzieaaltje (*Pratylenchus penetrans*) vrijwel geheel uit bodems weren (Evenhuis 2004; Actieplan aaltjesbeheersing 2008). Voor het gebruik van groenbemesters in ziektevering is maatwerk geboden: Waar sommige ziekteverwekkers geweerd worden, worden andere juist gestimuleerd. Alvorens een keuze gemaakt wordt is het belangrijk te achterhalen voor welke ziekteverwekkers wering door de groenbemester is aangetoond, en voor welke ziekteverwekkers de groenbemester juist waardplant is. Overzichtelijke hulpprogramma's zoals Aaltjesschema (www.aaltjesschema.nl) en het Actieplan Aaltjesbeheersing kunnen daarbij helpen. In toenemende maten komen door veredeling steeds effectievere groenbemesters ter beschikking voor de wering van ziekten en plagen.

4.2.4 Deklagen (“mulching”)

Over aanplantingen kan een deklaag van vergaand of rottend organisch of ander materiaal aangebracht worden. Dergelijke deklagen (engels “mulching”) worden vooral gebruikt om onkruiden tegen te gaan en om vruchten schoon te houden (bijv. in aardbei), maar kunnen ook de verspreiding voorkomen van bodemgebonden ziekten en plagen (Madden et al. 1993). Een veelgebruikt materiaal voor deklagen, in bijvoorbeeld de aardbeienteelt, is stro dat na de teelt ondergewerkt kan worden en daardoor bijdraagt aan het op peil houden van het organische stofgehalte. Het is ook mogelijk plantenresten te gebruiken waar bij de verrotting giftige stoffen vrijkomen, dit staat verder beschreven onder Hs. 5.6 “Biofumigatie”.

4.2.5 Chitine

Chitine is het hoofdbestanddeel van de huid van ongewervelden (bijv. insecten, spinnen, kreeftachtigen) en ook enkele schadelijke bodemorganismen zoals aaltjes en schimmels bevatten chitine. Door chitine op het land uit te rijden worden schimmels en bacteriën gestimuleerd die chitine af kunnen breken en daardoor ook groepen van ziekteverwekkers aantasten. Het aanvoeren van chitine draagt dus bij aan de specifieke ziekteverring (Akhtar en Alam 1993).

Voor de landbouw bruikbare hoeveelheden chitine zijn afkomstig uit de garnalenindustrie en worden steeds vaker in granulaat-vorm op de markt aangeboden, waar het tot op heden vooral afzet vindt in de glastuinbouw. Schadelijk bodemleven dat met chitine te beheersen is zijn hoofdzakelijk aaltjes die een rustfase hebben in een chitine-huid (“cyste”), schimmels met ruststructuren die chitine bevatten (wratziekte), maar er wordt ook gekeken naar de werkzaamheid op andere ongewervelden zoals insecten, duizendpoten en pissebedden.

4.2.6 Specifieke antagonisten toevoegen

Specifieke ziekte- en plaagverring door natuurlijke vijanden treedt pas op nádat de ziekteverwekker of plaag hoge dichtheden heeft bereikt, en dus tijdens minstens één seizoen schade aan het gewas heeft veroorzaakt (Lamers en Westdijk 2005). Het optreden van specifieke ziekteverring kan versneld worden door preparaten van natuurlijke vijanden aan de bodem toe te voegen, bijvoorbeeld in de vorm van diverse commerciële preparaten.

De werking van het toevoegen van natuurlijke vijanden is sterk afhankelijk van de fysisch-chemische toestand van de bodem. Veel specifieke antagonisten zijn gevoelig voor lage of hoge zuurgraden (pH) of bepaalde stikstof-koolstof verhoudingen. Een combinatie van meerdere soorten antagonisten kan hiervoor een oplossing zijn (Roberts et al. 2005). In substraatteelten in de glastuinbouw worden microbiële preparaten veel gebruikt, maar in de vollegrondsteelten zijn door de grotere variatie in bodems en bedrijfsvoering de effecten van preparaten slecht voorspelbaar. Wat betreft aaltjes is er internationaal aandacht voor de bestrijding van nematoden met bacteriën (o.a. *Pasteuria*) en schimmels (o.a. *Trichoderma*). Er zijn echter nog geen commerciële preparaten die in de gematigde streken effectief gebleken zijn (Runia 2006).

4.3 Bodembewerking en opbouw

4.3.1 Bodembewerking

Kerende bodembewerkingen die zijn gericht op betere drainage en doorluchting, zijn gerelateerd aan afnamen van schade door wortelrot verwekkers zoals *Fusarium*. Dat komt waarschijnlijk door de betere doorworteling en grotere wortelstelsels van gewassen op losse, niet te natte bodems waardoor planten vitaler groeien en meer stress op het wortelstelsel aankunnen. Bovendien ontwikkelen wortelrot verwekkers zich beter onder natte omstandigheden. Het diep onderwerken van geïnfecteerde gewasresten doodt ziekteverwekkers als *Rhizoctonia* door het gebrek aan zuurstof in diepere bodemlagen (overzicht in Abawi en Widmer 2000).

Kerende bodembewerking is echter wel schadelijk voor belangrijke microflora die wortels gezond houden en bescherming bieden tegen lage dichtheden van wortelrot veroorzakende ziekteverwekkers (Abawi en Widmer 2000). Bovendien schaadt kerende bodembewerking regenworm populaties, vooral van dieper gravende regenwormen zoals de pendelaar (*Lumbricus terrestris*) die kan bijdragen aan verbeterde waterhuishouding, maar snel verdwijnt bij te drastische bodembewerkingen waardoor vochtminnende bodemgebonden ziekten beter kunnen gedijen (Terbrügge en Düring 1999).

4.3.2 Minimale grondbewerking

Bij minimale grondbewerking wordt de bodem minimaal en ondiep bewerkt vanuit het idee dat het erosie voorkomt en bodemleven ontziet (Goddard et al. 2008). Door de minimale verstoring van bodemleven versnelt de afbraak van organisch materiaal en komen vele voedingsstoffen zoals fosfaat versneld vrij voor het gewas. Minimale grondbewerking kan bacteriën stimuleren die veroorzakers van wortelrot tegengaan. Echter, als wortelrot door *Pythium*, *Fusarium* of *Rhizoctonia* al in ernstige mate aanwezig is, kunnen de ziekteverwekkers door het ondiep onderwerken van zwaar geïnfecteerde gewasresten beter overleven en schade in het volggewas veroorzaken (Abawi & Widmer 2000). Verdichting onder de bouwvoor kan voorkomen worden door gebruik te maken van een systeem met vaste rijpaden waarbij met machines telkens over dezelfde baan gereden wordt. Ruggenteelt is een vorm van bodembewerking die in een strategie van ondiepe bodembewerking past waarbij veel gewasresten ondiep achterblijven. De grond in dergelijke ruggen is vaak luchtig, warmer, en droger waardoor wortelstelsels zich beter ontwikkelen en vooral wortelrot veroorzakers minder schade aanrichten (Abawi 1991).

Het recente overzicht van de grote hoeveelheid literatuur omtrent minimale grondbewerking door van der Weide et al. (2008) geeft een duidelijk beeld van hoe divers de effecten van minimale grondbewerking zijn op voedingsstoffen, onkruiden en ziekteverwekkers. Doorgaans wordt aangeraden minimale grondbewerking te combineren met bewerkingsmethoden als (vaste) ruggenteelt en een vaste rijpadensysteem om bouwvoorverdichting te voorkomen.

4.3.3 Zwarte braak

Zwarte braak wordt veel toegepast tegen onkruid maar is ook een effectieve saneringsmethode tegen ziekten en plagen doordat schadelijke aaltjes zoals *Meloidogyne chitwoodi* en *M. hapla* zwarte braak slechts voor een gering percentage overleven (Visser en Korthals 2006). Echter, een effectieve zwarte braak, zonder chemie of branden, vergt regelmatige bodembewerking waardoor achteruitgang van de bodemstructuur dreigt.

4.4 Samenvatting

Iedere vorm van bodembewerking is er op gericht bodemkwaliteit te vergroten. In een goede bodem zijn de fysische, chemische en biologische factoren optimaal, en daar is ziekteverendheid een gevolg van. De mechanismen achter biologische ziektevering zijn in de meeste gevallen die van *algemene wering*, waarbij concurrentie tussen gunstig en ongewenst bodemleven een centrale rol speelt. Algemene ziektevering kan door bodembeheer, zoals het aanvoeren van organisch materiaal in de vorm van compost, veranderd worden. Compost stimuleert in veel gevallen de ziektevering, terwijl het altijd bijdraagt aan de fysisch-chemische bodemkwaliteit en negatieve effecten op bodemgezondheid niet of nauwelijks waargenomen zijn.

Van *specifieke wering* wordt vooral geprofiteerd bij het stimuleren of toevoegen van antagonisten die middels enzymen of antibiotica bepaalde groepen ziekteverwekkers bestrijden. Dit kan door gebruik te maken van commerciële producten die chitine of specifieke microben bevatten, maar ook door het aanvoeren van compost met een divers en actief microbieel leven. Natuurlijke vormen van specifieke wering komen voor, maar zijn slecht voorspelbaar en treden pas op nadat één of meerdere seizoenen een lagere opbrengst is geleden.

De praktijkervaringen met toe- of afname van ziekteverendheid als gevolg van bodembeheer berusten meestal op (wetenschappelijke) experimenten. Dergelijke experimenten vonden vaak plaats in de vorm van biotoetsen in gesloten systemen zoals potten of substraatteelt in kassen. Hierdoor zijn effecten in de praktijk onzeker, vooral in volgrondsteelten waar een veel grotere variatie bestaat in grondsoorten, type bodembewerking, vruchtwisseling en gebruiksgeschiedenis.

De diversiteit aan maatregelen en effecten op bodemweerbaarheid maakt duidelijk dat het stimuleren van bodemweerbaarheid een kwestie van maatwerk is: De ene maatregel kan op één perceel goed werken, terwijl het op een ander perceel of onder andere omstandigheden de weerbaarheid juist tegenwerkt. Voor telers ligt er een uitdaging in de ontwikkeling van bodembeheer dat gericht is op vergroting van de weerbaarheid van de bodem. Door het zoeken naar maatregelen die tegelijkertijd bijdragen aan fysische (bodemstructuur) en chemische (bodemvruchtbaarheid) bodemkwaliteit, zoals het aanvoeren van compost en ander organisch materiaal, draagt de bedrijfsvoering bij aan duurzame bodemkwaliteit. Specifiek voor ziekteverendheid lijkt de ontwikkeling van geïntegreerde strategieën waarbij meerdere maatregelen zodanig ingezet worden dat ze elkaar aanvullen en daardoor een breed scala aan ziekteverwekkers weren, veelbelovend.

Literatuur

- Abawi GS. 1991. **Effects of raised ridges on root rot severity and yield of beans.** *Phytopathology* 81: 690.
- Abawi GS en Widmer TL. 2000. **Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops.** *Applied Soil Ecology* 15: 37-47.
- Actieplan aaltjesbeheersing 2008. **Aaltjeswaardplanschema.**
- Bailey KL, Lazarovitz G. 2003. **Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments.** *Soil & Tillage Research* 72: 169-180.
- Ceuster TJJ de, Hoitink HAJ. 1999. **Using compost to control plant diseases.** *BioCycle* 40: 61-64.
- Evenhuis B, Korthals GW, Molendijk LPG. 2004. ***Tagetes patula* as an effective catch crop for long-term control of *Pratylenchus penetrans*.** *Nematology*, 2004, Vol.6(6), 877-881 Vol.6(6):877-81.
- Goddard T, Zoebisch M, Gan Y, Ellis W, Watson A, Sombatpanit S (Eds). 2008. **No-till farming systems.** World Association of Soil and Water Conservation (WASWC) Special Publication no. 3.
- Haas D, Défago G. 2005. **Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads.** *Nature Reviews Microbiology* 3: 307-319.
- Janvier C, Villeneuve F, Alabouvette C, Edel-Hermann V, Mateille T, Steinberg C. 2007. **Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators?** *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1-23.
- Lamers J, Westdijk K. 2005. **Toepassingsmogelijkheden van ziektevering in de praktijk.** *Gewasbescherming* 36: 193-197.
- Madden LV, Wilson LL, Ellis MA. 1993. **Field spread of anthracnose fruit rot of strawberry in relation to ground cover and ambient weather conditions.** *Plant disease* 77: 861-866.
- Matthiessen JN, Kirkegaard JA. 2006. **Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soilborne pest and disease management.** *Critical Reviews in Plant Sciences* 25: 235-265.
- Meijer B, Lamers J. 2004. **Biologische grondontsmetting.** PPO nr. 415.
- Akhtar M, Alam MM. 1993. **Utilization of waste materials in nematode control: A review.** *Bioresource Technology* 45: 1-7.
- Postma J, Schilder MT, Bloem J, Leeuwen-Haagsma WK van. 2008. **Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems.** *Soil Biology and Biochemistry* 40: 2394 - 2406.
- Runia WT, van Beers TG, Brommer E, Kok CJ, Molendijk LPG. 2006. **Resultaten van het HPA project Inventarisatie bestrijdingsmethoden.** ppo-agv rapport projectnummer 3250037500:63.

- Tebrügge F, Düring R-A. 1999. **Reducing tillage intensity — a review of results from a long-term study in Germany.** Soil and Tillage Research 53: 15-28.
- Termorshuizen AJ, Rijn E van, Gaag DJ van der, Alabouvette C, Chen Y, Lagerlöf J, Malandrakis AA, Paplomatas EJ, Rämert B, Ryckeboer J, Steinberg C, Zmora-Nahoum S. 2006. **Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response.** Soil Biology & Biochemistry 38: 2461-2477.
- Timmer RD, Korthals, GW, Molendijk LPG. 2003. **Groenbemesters; van teelttechniek tot ziekten en plagen.** Brochure PPO - 316:60.
- Topp E, Millar S, Bork H, Welsh M. 1998. **Effects of marigold (*Tagetes sp.*) roots on soil microorganisms.** Biology and Fertility of Soils 27:149-154.
- Visser JHM en Korthals GW. 2006. **Waardplantgeschiktheid en schadegevoeligheid van akkerbouwgewassen en groenbemesters voor het maïswortelknobbelaaltje *Meloidogyne chitwoodi*.** PPO rapport nr. 520239.
- Weide R van der, Alebeek F van, Broek R van den. 2008. **En de boer, hij ploegde niet meer?** Literatuurstudie naar effecten van niet kerende grondbewerking versus ploegen. PPO-WUR rapport.

5 Chemische en fysische grondontsmettingstechnieken

5.1 Natte grondontsmetting

In de huidige landbouwpraktijk is natte grondontsmetting met Monam (fumigant met als actieve stof Methylisothiocyanaat) de enige mogelijkheid besmettingen met pathogenen en plantparasitaire aaltjessoorten chemisch te saneren. De effectiviteit loopt, afhankelijk van de soort schadeverwekker en de grondsoort, uiteen van een reductie met 50 tot maximaal 80% in de behandelde bouwvoor. In de aaltjesbeheersingsstrategie (ABS) is natte grondontsmetting het vangnet dat alleen in uiterste noodzaak wordt ingezet wanneer door de aangetroffen combinatie van aaltjessoorten en de aanwezige besmettingsniveaus alternatieve maatregelen niet meer mogelijk zijn. Monam is oorspronkelijk ontwikkeld als fungicide en kan het best gekenmerkt worden als een breedwerkend biocide en is ook schadelijk voor milieu en mens. Natte grondontsmetting is daarmee een grote aanslag op het bodemleven dat daardoor langere tijd verstoord kan zijn. Percelen die in het verleden regelmatig werden ontsmet bleken daardoor bijvoorbeeld gevoeliger te worden voor schimmelziekten als *Rhizoctonia*. De praktijk ervaart kort na grondontsmetting vaak een tijdelijk verhoogde bodemvruchtbaarheid. Waarschijnlijk heeft dit te maken met het gedode bodemleven waaruit de vastgelegde nutriënten na ontsmetting vrijkomen.

5.2 Granulaire nematociden

Mocap, Nemathorin en Vydate zijn granulaire nematostatica die tijdens poten, planten of zaaien worden toegepast. Zij verdoven aaltjes tijdelijk zodat de plant de kans krijgt ongestoord te groeien. Wanneer de verdooving lang aanhoudt kan dit resulteren in een verminderde vermeerdering. Absolute afname door afdoding van populaties komt slechts zelden voor. Niet alleen plantparasitaire aaltjessoorten maar ook schimmelgrazers en bacterie-eters worden tijdelijk stilgelegd. Dit uit zich o.a. in een sterkere lakschurft bezetting op consumptieaardappelen. Granulaire nematociden hebben echter een veel geringere impact dan natte grondontsmetting en worden in de praktijk van de vollegrondsgroententeelt nog weinig toegepast.

5.3 Biologische grondontsmetting

Het principe van biologische grondontsmetting is dat er een grote hoeveelheid vers organisch materiaal (40 ton per ha) wordt fijn gemaakt en in de bouwvoor wordt ingewerkt. Vervolgens wordt het perceel afgedekt met zuurstofdicht plastic. De anaërobe vertering van deze organische massa leidt tot afbraakproducten die dodelijk zijn voor veel aaltjessoorten en ziekteverwekkers. In tegenstelling tot natte grondontsmetting en stomen overleven veel organismen deze omstandigheden en wordt na het verwijderen van het plastic zeer snel nieuw bodemleven opgebouwd (Lamers 2004). De methode is verder in onderzoek op proeflocatie Vredepeel.

5.4 Biofumigatie

Deze techniek is gekoppeld aan glucosinolaat houdende gewassen. Onder de cruciferen zijn veel gewassen die hoge gehalten aan dergelijke stoffen bevatten. Wanneer deze gewassen op de juiste wijze kunnen worden

fijngemaakt en in contact komen met eveneens in deze planten aanwezige enzymen ontstaat er vanuit de plant een serie actieve stoffen die homolog zijn met de methylisothiocyanaat vanuit het synthetische Monam. Deze homologen zijn meer en minder effectief in de doding van aaltjes en/of schimmels. De laatste jaren is er veel aandacht voor deze 'natuurlijke' grondontsmetting. Sluitende systemen met adviezen rondom teelt en wijze van inwerking zijn er echter nog niet ontwikkeld. Hoe deze biofumigatie uitpakt m.b.t. duurzame ziektevermindering kan nog niet worden beoordeeld.

5.5 Inundatie

Door het onder water zetten van een perceel (inundatie) wordt de zuurstoftoevoer afgesneden en wordt de grond zuurstofloos. CO₂-productie door anaërobe bacteriën, denitrificatie, toename van ammoniakgas, reductie van ijzer, mangaan en sulfaten en productie van organische zuren, methaan en waterstofsulfide. Na inundatie van bollenvelden gedurende 1 maand was *Ditylenchus dipsaci* niet meer aantoonbaar en het aantal *Paratrichodorus* aaltjes afgenomen tot 10% van de oorspronkelijke populatie. Na 8 weken inundatie konden geen plantparasitaire aaltjes meer worden aangetoond (Maas 1987). Voor meer detailinformatie wordt verwezen naar (Runia 2006).

5.6 Stomen

Door verhitting van de bouwvoor met stoom wordt al het bodemleven gedood. Nadeel is dat er na verwijdering van de stoomzeilen een min of meer steriel substraat achterblijft dat zeer snel geherkoloniseerd raakt vanuit de lucht en niet-ontsmette gronddelen aan randen. Wanneer ziektekiemen als eerste in deze 'leegte' belanden kan de grond zeer snel weer besmet raken en is het effect van het stomen van zeer korte duur (Runia 2000).

5.7 Andere fysische technieken

Cultivit is een concept waarbij de te behandelen grond via een spittechniek omhoog wordt geworpen in een ruimte waar hete lucht wordt ingespoten. Een grondbehandeling met hete lucht heeft in plastic tunnelteelten van courgette in een Mediterraan klimaat geleid tot een opbrengstverhoging van 90-150%. Het aantal *Meloidogyne* aaltjes nam niet af na de behandeling met hete lucht. De kwaliteit van de aaltjes direct na de behandeling en op langere termijn is niet onderzocht. Evenmin is bekend welk proces hieraan ten grondslag ligt. Het aantal *Meloidogyne fallax* aaltjes in een Nederlands perceel nam niet af na een hete lucht behandeling; noch in de bouwvoor van 0-30 cm noch daaronder op 30-50 cm diepte. Dit in tegenstelling tot de fumigant Monam, die ook op 30-50 cm diepte de nematoden vrijwel volledig elimineerde. Dieptewerking is van essentieel belang omdat er aanwijzingen zijn dat de natuurlijke wintersterfte onder de bouwvoor lager is dan in de bouwvoor (Runia 2004 en Runia 2005). De potentie van een hete luchtbehandeling voor de productie van akkerbouwgewassen in het Nederlandse gematigde klimaat is nog onbekend.

Andere fysische methoden zoals bestraling met gamma-, UV- of X-stralen, microgolven, ultrasoon of elektrocutie zijn in het verleden wel onderzocht maar hebben niet geleid tot praktijktoepassingen. Een Nederlandse mobiele grondontsmettingsmachine op basis van elektromagnetische golven (Agritron) is nog niet praktijkrijp, maar wordt nog doorontwikkeld. Deze machine moet in staat zijn om een 50-70 cm diepe grondlaag te ontsmetten.

PPO heeft in opdracht van Productschap Akkerbouw alle bestaande ontsmettingstechnieken op een rijtje gezet. Voor meer detail en literatuur over bovenstaande technieken wordt daarom verwezen naar dit rapport (Runia 2006) dat kan worden verkregen via www.kennisakker.nl.

5.8 *Literatuur*

Lamers J, Wanten P, Blok W. 2004. **Biological soil disinfestation: a safe and effective approach for controlling soilborne pests and diseases**. Agroindustria 3: 289-291.

Maas PWT. 1987. **Physical methods and quarantine**. In: RH Brown & BR Kerry (eds) Principles and Practice of Nematode Control in Crops. New York, Acad. Press, pp. 265-291.

Runia WT. 2000. **Steaming methods for soils and substrates**. Acta Horticulturae ISHS 2000 532: 115-23.

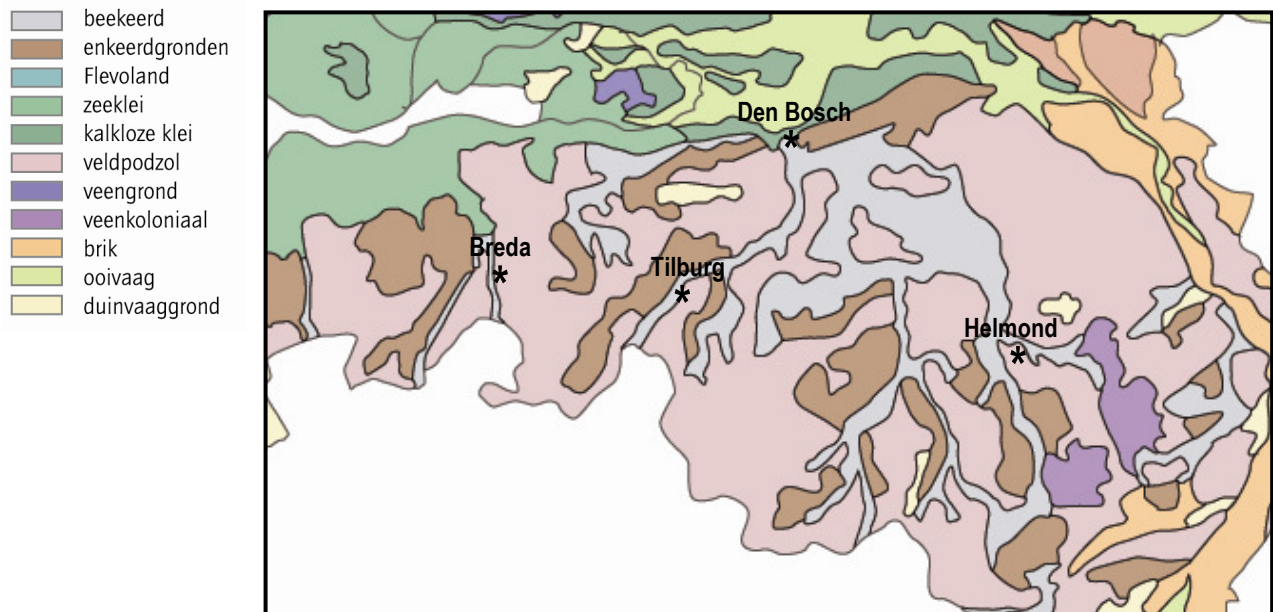
Runia WT, Molendijk LPG, Greenberger A, Neophytou G. 2005. **Soil treatment with hot air as alternative to methyl bromide; full report**. PPO-projectrapport 520340 and 520530 - full report.

Runia WT, van Beers TG, Brommer E, Kok CJ, Molendijk LPG. 2006. **Resultaten van het HPA project Inventarisatie bestrijdingsmethoden**. ppo-agv rapport projectnummer 3250037500:63.

6 Kenmerken van de onderzoeksregio

6.1 Bodems in Noord Brabant

De bodems in Noord Brabant zijn meestal zandgronden, maar in het westen zijn ook zeekleigronden, in het noorden rivierkleigronden, en in het oosten enkele gebieden met veengrond (Fig. 6.1). De meeste landbouwgronden in Brabant zijn zandgronden die geclassificeerd zijn als podzol- of eerdgrond (de Bakker en Schelling 1989).



Figuur 6.1: De bodems van Noord Brabant .

6.1.1 Podzolgronden

Podzolgronden zijn de overheersende bodemtypen van de zandgronden van Noord-Brabant. Deze zijn ontstaan op arme, droge zandgronden waar voor de ontginning heide of arm bos stond. Onder de humusrijke toplaag ligt een grijzige uitspoelingslaag gevolgd door een donkerdere inspoelingslaag met daaronder de lichte, oorspronkelijke zandgrond. Podzolgronden zijn van oorsprong zuur en gevoelig voor uitspoeling van nutriënten (Koopmans et al. 2007).

6.1.2 Eerdgronden

Eerdgronden hebben een goed gemengde humusrijke (zwarte) laag. In Noord Brabant komen enkeerdgronden en beekerdgronden voor. Enkeerdgronden zijn na podzolgronden het meest algemeen in Noord Brabant. Het zijn vaak eeuwenoude landbouwgronden waar de dikke humusrijke laag is ontstaan door het eeuwenlang opbrengen van plaggenmest. Minder algemeen in Brabant zijn de beekerdgronden. Deze zijn ontstaan na ontginning van gronden rond beken en middelgrote rivieren en worden gekenmerkt door roestplekken in oude wortelgangen in de humusarme (lichte) onderlaag (Koopmans et al. 2007).

6.2 Vollegrondsteelt in Noord Brabant

6.2.1 Bedrijfstypen

In 2007 waren er in Noord Brabant 5763 bedrijven met vollegrondsteelten (42% van alle landbouwbedrijven). Akkerbouwbedrijven waren het algemeenst (35%), gevolgd door tuinbouw (23%) en bedrijven die gewassen en veeteelt combineerden (19%) (Tabel 6-1).

Tabel 6-1: Bedrijfstypen vollegrondsteelten in Noord Brabant gebaseerd op gegevens uit 2007.
Bron: Centraal Bureau voor de Statistiek 2008.

Bedrijfstype	Aantal	%
Akkerbouwbedrijven	1997	35%
Tuinbouwbedrijven	1327	23%
Gewassen/veeteeltcombinaties	1097	19%
Blijvende teeltbedrijven	1068	19%
Gewassencombinaties	274	5%
Vollegrondsteelten totaal	5763	100%
Landbouw totaal	13658	

6.2.2 Vollegronds akker- en tuinbouwgroenten

De meest algemene vollegronds tuinbouwgroenten van Noord Brabant zijn aardbei, sperzieboon (=stamslaboon), prei en asperge. Van verschillende gewassen ligt meer dan de helft van het Nederlandse areaal in Noord Brabant (Tabel 6-2).

Tabel 6-2: Belangrijke vollegronds tuinbouwgroenten van Noord Brabant gebaseerd op gegevens uit 2007.
Bron: Centraal Bureau voor de Statistiek 2008

Gewas	Areaal NL (are)	% van het NL areaal in NB
Bospeen	22173	78%
Aardbeien	226845	77%
Selderij, bleek/groen	15339	65%
Sperzieboon	375083	56%
Prei	306271	50%

6.3 Bodemgebonden ziekten en plagen op aardbei, sperzieboon en prei

6.3.1 Bodemgebonden ziekten op Aardbei

- *Xanthomonas fragariae* – Bladvlekkenziekte. Deze bacterie veroorzaakt de bladvlekkenziekte en is een quarantaine organisme (Wingelaar et al. 2005). Uitgangsmateriaal moet dus vrij zijn van deze bacterie. Het effect van de bladvlekkenziekte op opbrengstderving is moeilijk in te schatten maar kan tot 30% oplopen. De bacterie overleeft alleen in de bodem als er voldoende gewasresten achterblijven (Lieten 2005; Desmet et al. 2006).
- *Phytophthora cactorum* – Stengelbasisrot. Slijmschimmel die overleeft in de bodem en aardbeien meestal aan de stengels aantast (minder vaak op vruchten) (Groen Kennisnet).
- *Verticillium dahliae* – Verwelkingsziekte. Geïnfecteerde planten zijn te herkennen aan slaphangende blaadjes met gekrulde randen. Geïnfecteerde planten staan vaak in groepjes (zelden het gehele gewas) en blijven achter in de groei. De schimmel kan jarenlang overleven in geïnfecteerde gewasresten in de bodem (Groen Kennisnet). Er zijn successen geboekt met biologische grondontsmetting in de bestrijding van *Verticillium* (Lamers et al. 2002).
- *Botrytis cinerea* – Grauwe schimmel vruchtrot. Deze schimmel is de belangrijkste veroorzaker van vruchtrot in aardbei waar vaak (5 tot 10 keer per teelt) met fungiciden tegen gespoten wordt. De schimmel *Ulocladium atrum* is een bekende antagonist die in experimenten veelbelovend is gebleken om opbrengstderving door *Botrytis* vruchtrot te verminderen (Desmet et al. 2007).
- *Pratylenchus penetrans* – Wortelstompsaaltje. Dit aaltje zorgt voor veel opbrengstderving in de productieteelt. Met de inzet van *Tagetes* kan deze soort zeer goed bestreden worden (Molendijk 2000a).
- *Meloidogyne hapla* – Noordelijk wortelknobbelaaltje. Bij hoge dichtheden leidt deze soort tot plantuitval en opbrengstderving. Hoofdprobleem zit met deze soort in de plantvermeerdering (Molendijk 2000b).

6.3.2 Bodemgebonden ziekten op Sperzieboon

- *Botrytis cinerea* - Grauwe schimmel. Deze schimmel tast vanuit dode plantendelen (zoals verwelkte bloemetjes) de peulen aan. Dungezaaide gewassen en gewassen zonder dichte bladerdekken zijn minder vatbaar. Hoge vochtigheid stimuleert de schimmel (Groen Kennisnet).
- *Meloidogyne hapla* – Noordelijk wortelknobbelaaltje. Bij hoge dichtheden leidt deze soort tot opbrengstderving.

6.3.3 Bodemgebonden ziekten op Prei

- *Pseudomonas syringae* pv *porri* - Preirot. Deze bacterie is de belangrijkste bodemgebonden ziekteverwekker in prei en kan tot wel 50% opbrengstderving leiden (Wingelaar et al. 2005). Het terugstorten van oogstresten op het land kan de bacterie in stand houden. Omdat chemische oplossingen voor plant-pathogene bacteriën niet toegestaan zijn, moeten oplossingen gezocht worden in andere vormen van wering zoals compost, het aanvoeren van specifieke antagonisten, en het achterwege laten van terugstorten (van Oosterbeek et al. 2007).
- *Phytophthora porri* – Papiervlekkenziekte. Deze slijmschimmel overwintert als oöspore in bodems en kan van daaruit nieuwe aanplant infecteren (Groen Kennisnet).

- *Fusarium culmorum* – Rozerot-vlekkenziekte. Deze vorm van *Fusarium*-rot komt vooral voor in zwakke gewassen. Goed groeiende en gezonde gewassen zijn nauwelijks gevoelig (Groen Kennisnet). Vruchtwisseling wordt als belangrijkste maatregel tegen deze vlekkenziekte genoemd.
- *Sclerotium cepivorum* - Witrot. Haast alle alliumgewassen zijn gevoelig voor deze schimmel die wortelstelsels aantast. Jonge planten sterven daardoor af en oudere planten verwelken. De schimmel is hardnekkig en kan onder optimale omstandigheid wel 10 jaar zonder waardplanten in bodems overleven (Groen Kennisnet).
- Trichodoridae – Vrijlevende wortelaaltjes. Er komen steeds meer meldingen van schade door een zeer onregelmatige start van het gewas (Molendijk, 2000b).

6.4 Vollegronddaarbeienteelt in Noord-Brabant

6.4.1 Karakterisering van de aardbeienteelt

Aardbei behoort tot het meest geteelde gewas in Noord-Brabant en van het totale Nederlandse areaal wordt 77% van de aardbeien geteeld in Noord-Brabant (Tabel 6-2). Omdat bodemgebonden ziekten en plagen voor aardbeientelers een belangrijk aandachtspunt vormen heeft de begeleidingscommissie aanbevolen tijdens dit project de aandacht vooral op de aardbeienteelt te richten.

Om een beeld te krijgen van hoe de thema's "bodemkwaliteit" en "ziektewerendheid" leven onder Brabantse aardbeientelers, zijn zowel in de regio Breda-Rozendaal als in de regio Helmond bedrijven bezocht. In totaal zijn 8 telers en 3 adviseurs uit de regio's geïnterviewd aan de hand van een vragenlijst (Bijlage 1). De daaruit voortgekomen bedrijfsschetsen zijn gegeven in Bijlage 2. Tijdens een landelijke workshop op 14 januari 2009 te Bunnik, zijn de begrippen rondom bodemkwaliteit en perspectiefvolle maatregelen op bedrijfsniveau besproken in een brede groep van telers, adviseurs en onderzoekers. Zie bijlage 3 voor de samenvatting.

De aardbeienteelt wordt gekarakteriseerd door continue teelt waardoor risico's op bodemgebonden ziekten en plagen relatief groot zijn en de weerbaarheid van het gewas over het algemeen beperkt is. Chemische grondontsmetting m.b.v. Monam®, met name tegen aaltjes, en chemische bestrijding van ziekten en plagen op het gewas worden door de meeste telers gezien als noodzakelijk kwaad. Wat opvalt tijdens de interviews is dat de manier van telen per bedrijf sterk verschilt: Iedere teler heeft zijn eigen methoden voor een succesvolle teelt. Alle geïnterviewden waren het erover eens dat een goede teelt begint bij een goede kwaliteit van de bodem. De manier waarop telers daar vervolgens mee omgaan en invulling geven aan die overtuiging loopt uiteen van systemen gebaseerd op gerichte bemesting met kunstmest en grondontsmetting om de vijf jaar tot biologisch-dynamische teeltsystemen zonder grondontsmetting en met zoveel mogelijk aanvoer van organisch materiaal.

6.4.2 Onderzoeksvragen uit de regio

- Alternatieven voor chemische grondontsmetting en gewasbescherming zijn gewenst.
- Omdat volgens de meeste telers een weerbare bodem het resultaat is van "evenwicht in mineralen, structuur en bodemleven" worden oplossingen verwacht in bemesting (o.a. inzet van compost, sporenelementen), ontwikkeling van nieuwe groenbemesters bijvoorbeeld tegen het aaltje *Meloidogyne hapla*, en in sommige gevallen in teelttechnieken zoals ruggenteelt.

- Belangrijke ziekten en plagen zijn *Phytophthora cactorum* en aaltjes (vooral *Pratylenchus penetrans* en *Meloidogyne hapla*).

6.5 Literatuur

Bakker H de en Schelling J. 1989. **Systeem van bodemclassificatie voor Nederland**. De hogere niveaus, 2e gewijzigde druk, bewerkt door Brus DJ en van Wallenburg C. PUDOC Wageningen.

Desmet E, Vaerenbergh J van en Denruyter L. 2006. **Bacteriebladvlekkenziekte bij aardbei (*Xanthomonas fragariae*)**. ProeftuinNieuws 14/15: 22-23.

Desmet E, Aerts R en Put K. 2007. **Grauwe schimmel in aardbeien bestrijden met antagonistische schimmels**. ProeftuinNieuws 5: 32-33.

Groen Kennisnet. **Databank gewasbescherming** <http://www.groenkennisnet.nl> stand 29-10-2008.

Koopmans C, Bokhorst J, Berg C ter en Eekeren N van. 2007. **Bodemsignalen**. Uitgeverij Roodbont, Zupthen. 96 pp.

Lamers JG, Evenhuis A, Wanten P en Blok WJ. 2002. **Biologische grondontsmetting ter bestrijding van *Verticillium dahliae* in aardbeien**. Gewasbescherming 33: 71.

Lieten P. 2005. **Verwelkingsziekte bij aardbeien**. ProeftuinNieuws 14-15: 23-24.

Molendijk LPG, Runia WT en van Beers TG. 2000a. **Inventarisatie van aaltjeskennis in de teelt van aardbei**. PPO Projectnummer 120151-1.

Molendijk LPG, Runia WT en van Beers TG. 2000b. **Inventarisatie van aaltjeskennis in de teelt van prei**. PPO Projectnummer 120151-5.

Overbeek L van, Kruistum G van en Visser J. 2007. **Onderdrukking van ziekten en plagen in prei**. Poster, Plant Research International, Wageningen UR.

Wingelaar J, Jellema P en Boesveld H. 2005. **Monitoring ziekten, plagen en onkruiden. Rapportage van de ontwikkelingen 1998 – 2004**. Plantenziektkundige Dienst, Wageningen.

7 Werkplan 2009

7.1 Inleiding

De land- en tuinbouw ontwikkelen zich naar intensievere en complexere bedrijfssystemen. Vanuit de sector groeit het besef dat de chemische benadering van ziekten en plagen haar grenzen begint te bereiken. In de glastuinbouw zijn belangrijke resultaten geboekt met biologische beheersing van plagen. Het gaat daarbij om de functionele benutting van de reeds aanwezige (of te introduceren) biodiversiteit. In de open teelten is een dergelijke benadering veel moeilijker omdat de condities minder stuurbaar en beheersbaar zijn. Vanuit de sectorcommissies en begeleidingscommissie is desondanks de wens uitgesproken om te werken vanuit een benadering van Functionele Agrobiodiversiteit (kortweg "FAB-benadering") in de vollegrondsgroententeelt. Het optreden van ziekten en plagen is vaak gerelateerd aan de conditie van de bodem. Positieve en negatieve bodemorganismen, zoals aaltjes en schimmels, bepalen voor een deel de gezondheid van de bodem en de risico's wat betreft opbrengstderving. Een belangrijke vraag vanuit de sector is hoe de huidige gezondheidstoestand van de bodem is vast te stellen en hoe de effecten van maatregelen op de ontwikkeling van bodemgezondheid te meten zijn. Met het project Weerbare Bodem hopen we op die vraag een antwoord te vinden.

Uitvoeringsactiviteiten in het veld zullen plaatsvinden op vollegrondsgroentebedrijven op lichte zandgrond in Noord-Brabant. Aanvullend wordt gebruik gemaakt van het liggende proefveld op proeflocatie Vredepeel. De activiteiten binnen het project kunnen dus worden opgesplitst in twee delen:

- Bemonstering en verzamelen van bedrijfsgegevens van praktijkpercelen op vollegrondsgroententeelt bedrijven in de Noord-Brabant met als doel het in beeld brengen van de bodemweerbaarheid.
- Metingen ter verdieping aan de invloed van (teelt)maatregelen op bodemgezondheid (Vredepeel).

7.2 Meting van de bodemgezondheidstoestand op praktijkbedrijven

Het werken aan bodemweerbaarheid door gerichte inzet van teeltmaatregelen anders dan chemische gewasbescherming en grondontsmetting is voor de praktijk nog relatief nieuw. De kennis over de relatie tussen maatregelen en effecten op de bodem is beperkt. Om ontwikkelde kennis in de praktijk te laten landen is de directe betrokkenheid en de ervaring van (vooroplopende) telers noodzakelijk. Daarnaast is een beeld nodig van de spreiding op en tussen bedrijven om vervolgmetingen te kunnen plaatsen. Daarom wordt in 2009 gestart met een ruimere inventarisatie van de bodemkwaliteit in brede zin en bodemweerbaarheid in engere zin op 14 percelen verspreid over twee regio's in Noord-Brabant.

7.2.1 Activiteiten in 2009

- Selectie van 14 praktijkpercelen van 7 aardbeientelers verdeeld over West- en Oost-Brabant. De percelen zijn door de telers zelf aangewezen als "goed" respectievelijk "slecht" wat betreft opbrengst;
- Verzamelen van bedrijfsgegevens van de geselecteerde bedrijven (bedrijfsbezoeken);
- Bodemmetingen per perceel aan biotiek en abiotiek;

- Chemische parameters (pH, OS, lutum, koolzure kalk, P-Al, N-totaal, C-totaal);
- Bacterie- en schimmelbiomassa;
- Nematoden op soortniveau.
- Bodemprofielbeoordelingen;
- Biotoets aardbei versus *Phytophthora* met grond afkomstig van de 14 praktijkpercelen. De biotoets wordt uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden in de kassen van WUR-Unifarm;
- Analyse van de bodembemonstering en koppeling aan bedrijfsgegevens;
- Conclusies t.a.v. ziekteverendheid op perceelsniveau.

7.2.2 Doorkijkje naar 2010-2011

Eind 2009 worden de resultaten van de praktijkpercelen geanalyseerd en beoordeeld. Dan moet duidelijk worden hoe het is gesteld met de weerbaarheid van de bodem op de bedrijven. Een volgende stap is het formuleren van knelpunten en kansen zodat in 2010 gerichte maatregelen kunnen worden aangelegd en gemonitord. Tenslotte moet dit leiden tot een validatie en het praktijkrijp maken van meetmethoden om het effect van een aantal bedrijfsmaatregelen op de weerbaarheid van de bodem in kaart te brengen.

7.3 Opzet Vredepeel

7.3.1 Historie

De land- en tuinbouw ontwikkelen zich naar intensievere en complexere bedrijfssystemen. Binnen dergelijke bedrijfssystemen wordt een nog groter beroep gedaan op de bodemgezondheid. Alle keuzes die de teler maakt, moeten gericht zijn op zo min mogelijk schade door verschillende bodempathogenen, zoals aaltjes, schimmels en bacteriën. Dit moet bovendien binnen zeer strenge eisen m.b.t. inzet van gewasbeschermingsmiddelen en bemesting. Deze trend vergt nieuwe kennis m.b.t. de inpasbaarheid en bedrijfszekerheid van teeltmaatregelen om de bodemgezondheid optimaal te gebruiken. In 2006 zijn, in opdracht van LNV (DWK-onderzoek) op het proefbedrijf Vredepeel (Limburg) vier bedrijfssystemen aangelegd:

1. Goede waardplanten (zomertarwe, waarbij aaltjes zich vermeerderen); geïntegreerd
2. Goede waardplanten; biologisch
3. Slechte waardplanten (zomergerst, waarbij aaltjes worden beheerst); geïntegreerd
4. Slechte waardplanten; biologisch

Locatie Vredepeel werd gekozen omdat daar in ieder geval sprake was van een besmetting met wortellesieaaltjes (*Pratylenchus penetrans*) en bodemschimmels, zoals *Verticillium dahliae*. De systemen werden aangelegd in viervoud en per systeem werden 10 maatregelen aangelegd om bodemgezondheid, in dit geval de onderdrukking van ziekten en plagen, bij verschillende bedrijfssystemen te beïnvloeden. De maatregelen die hiervoor werden geselecteerd zijn:

1. Biologische grondontsmetting
2. Teelt van afrikaantjes
3. Compost

4. Chitine
5. Niet-biologische grondontsmetting
6. Teelt van gras-klover
7. Fysische grondontsmetting
8. Teelt van een biofumigatiegewas
9. Een combinatie van verschillende factoren
10. Onbehandelde controle

In het biologische systeem is voor behandeling 5 een behandeling uitgevoerd met Caliente, een nematicide op basis van mosterdolie. In het geïntegreerde systeem is behandeling 5 de gangbare natte grondontsmetting met Monam ingebracht met de spitinjecteur.

In het kader van het hier beschreven PT project is systeem 1 geselecteerd met de 10 maatregelen met daar boven op de Caliente behandeling uit systeem 2. Dit om de vergelijking Caliente Monam te kunnen uitvoeren. Totaal worden in het PT project zodoende 44 veldjes betrokken.

In bijlage 4 worden de verschillende maatregelen kort toegelicht. Sinds 2006 worden er verschillende gewassen geteeld (aardappel in 2007, lelie in 2008, granen in 2009), waarbij opbrengst en kwaliteitsaspecten worden beoordeeld. De gegevens die beschikbaar komen uit het LNV project worden mede gebruikt voor de interpretatie van de resultaten. Deze metingen bestaan uit:

- Plantparasitaire aaltjessoorten op soortniveau;
- Abiotische karakteristieken (pH, OS, nutriënten, etc.);
- Verschillende biotoetsen in het veld, laboratorium of de kas uitgevoerd;
- Denaturant Gradiënt Gel Electroforese (DGGE).

7.3.2 *Activiteiten in 2009*

- Metingen in systeem 1, het geïntegreerde systeem zonder Aaltjes Beheersings Strategie (ABS). Dit is het meest gangbare systeem dat voorkomt in de regio, en de verwachting is dat binnen dit systeem de meeste variatie in bodembiodiversiteit zal ontstaan
- Binnen dit bedrijfssysteem worden alle 10 behandelingen bemonsterd op:
 - Chemische parameters (pH, OS, lutum, koolzure kalk, P-AI, N-totaal, C-totaal)
 - Bacterie- en schimmel biomassa
 - Nematoden op soortniveau
- Analyse van de bodembemonstering en koppeling aan metingen vanuit andere projecten
- Conclusies t.a.v. bodemweerbaarheid per maatregel

7.3.3 *Doorkijkje naar 2010-2011*

In 2010 is voorzien dat er aardappels worden geteeld en in 2011 lelies. Dezelfde veldjes worden in de tijd gevolgd. De afzonderlijke resultaten komen samen in een grote database van waaruit analyse zal plaats vinden om te beoordelen welke van de maatregelen in staat is of zijn om de bodemgezondheid (in dit geval de vermindering van

schade aan gewassen door bodemziekten zoals o.a. *P. penetrans*) te verbeteren. Bovendien zullen de verschillende methodieken mogelijk meer inzicht verschaffen in de onderliggende mechanismen die de bodemgezondheid veranderen. Uiteindelijk moet één of een set van methodieken die in dit onderzoek worden ingezet, helpen bij het vroegtijdig signaleren van veranderingen in de bodemgezondheid. Een aantal van de gekozen technieken zullen door het LBI ook worden ingezet op de 14 geselecteerde percelen. Op basis van de wensen van de telers, de aangetroffen uitgangssituatie en de resultaten van Vredepeel worden de maatregelen gekozen die op de 14 percelen worden uitgevoerd.

7.4 *Communicatieplan*

De doelgroep van het project weerbare bodem bestaat uit praktijkbedrijven, aardbeientelers op zand in Brabant, vollegrondsgroenten telers buiten Brabant op zand, landbouwvoorlichters, onderzoekers en beleidsmakers.

Gedurende het jaar wordt er op diverse manieren en middels diverse media naar de doelgroepen gecommuniceerd:

- Tijdens de Landelijke FAB-dag op 14 januari 2009 zijn de plannen aan een breed publiek gepresenteerd.
- Gedurende het jaar zal de begeleidingscommissie vanuit de PT regelmatig op de hoogte worden gesteld van het verloop van het project.
- Betrokken telers worden via bedrijfsbezoeken, email en telefonisch contact op de hoogte gehouden van de werkzaamheden gedurende het seizoen.
- Tijdens open dagen en b.v. de landelijke aardbeiendag op 28 augustus zal het project onder de aandacht worden gebracht.
- Via berichten in vakbladen of op websites kunnen eventuele tussentijdse resultaten breed worden gepresenteerd.
- Eind 2009 wordt verslag gedaan van de resultaten in de FAB-rapportage van 2009.
-

Bijlage 1: Vragenlijst interviews

Vragen aan landbouwvoorlichters en onderzoekers:

- In welk gebied bent u werkzaam?
- Wat verstaat u onder het begrip bodemkwaliteit?
- Wat verstaat u onder het begrip bodemgezondheid?
- Wat verstaat u onder het begrip bodemweerbaarheid?
- Vindt u weerbaarheid van bodems tegen ziekten en plagen een belangrijk thema?
- Krijgt u er vaak vragen over uit de praktijk?
- Wat voor vragen?
- Welke ziektes komt u vooral tegen? Op welke gewassen?
- Welke plagen komt u vooral tegen? Op welke gewassen?
- Heeft u een idee waar de oorzaak ligt?
- Wat adviseert u bij problemen met bodemgebonden ziekten en plagen?
- Kent u bedrijven die gebruikmaken van specifieke maatregelen zoals groenbemesters, compost, zwarte braak, antagonisten, mulching, bodembewerking?
- Kent u bedrijven die duidelijk minder ziekten en plagen hebben dan gemiddeld?
- Doen die bedrijven iets bijzonders?

Vragen aan vollegrondsgroententelers:

- Hoe groot is uw bedrijf?
- Welke gewassen teelt u?
- Heeft u een vaste rotatie?
- Welke meststoffen gebruikt u?
- Maakt u gebruik van (natte) grondontsmetting?
- Wat verstaat u onder het begrip bodemkwaliteit?
- Wat verstaat u onder het begrip bodemweerbaarheid?
- Vindt u weerbaarheid van bodems tegen ziekten en plagen een belangrijk thema?
- Neemt u bewust maatregelen op uw bedrijf om bodemgebonden ziekten en plagen te voorkomen? (groenbemesters, compost, mulching, antagonisten, zwarte braak, bodembewerking)
- In welke gewassen heeft u de meeste problemen met bodemgebonden ziekten en plagen?
- Welke ziektes komt u vooral tegen? Op welke gewassen?
- Welke plagen komt u vooral tegen? Op welke gewassen?
- Heeft u een idee waar de oorzaak ligt?
- Neemt u ook gericht maatregelen om ziekten en plagen te bestrijden?
- Welke maatregelen? Op welk gewas?
- Kent u collega bedrijven die duidelijk minder ziekten en plagen hebben dan gemiddeld? Doen die bedrijven iets bijzonders?

•

Bijlage 2: Interviews in de regio

Bedrijf A

Algemeen

Het bedrijf ligt in het beekdal van de Aa. De percelen zijn variabel, van zand tot sterk leemhoudend. “De beste grond voor de aardbeienteelt is grond die fijn valt en waar het water goed doorheen gaat”. Vroeger was dit een gemengd bedrijf met varkens, prei en aardbeien (pluk en vermeerdering). Sinds 1999 alleen nog 10 ha aardbeien voor de pluk in de vollegrond. Sinds de ruilverkaveling in 2006 is de bodemkwaliteit op veel plekken achteruit gegaan, vooral de ontwatering is verslechterd. Alle teelt wordt nu uitgevoerd op ruggen, bedekt met plastic en daaroverheen stro (5-6 ton/ha). In België is dit systeem heel normaal. Er wordt door het plastic heen geplant vanaf half februari en geplukt tot oktober. Na de pluk worden de planten ingewerkt.

“De beste grond voor de aardbeienteelt is grond die fijn valt en waar het water goed doorheen gaat”.

Maatregelen

Er wordt bemest met varkens- en kalverdrijfmest van de buurman. Daarnaast wordt er groencompost aangevoerd van Den Ouden Groenrecycling (Zegge). Tijdens de teelt worden bladanalyses genomen en wordt bijbemest met kunstmest via de bewatering. Elke 2 jaar neemt Blgg een bodemonmonster. Na de ruilverkaveling zijn alle percelen ontsmet. Eind 2009 zal op aaltjes worden bemonsterd en wordt bepaald of ontsmetting opnieuw nodig is.

De vroege teelten worden gevolgd door een groenbemester (*Tagetes*, *Bladrammenas* of *Raaigras*). Daarnaast wordt er dus sinds 2006 op ruggen geteeld.

Knelpunten & Kansen

- Weinig last van ziekten en plagen sinds de teelt op ruggen
- Ontwateringsproblemen en slechte opkomst blijven beperkt dankzij de ruggenteelt
- Zou de mestgift nu ook omlaag kunnen en hoever?
- Kan ik met compost van een slechte bodem een goede bodem maken?

Bedrijf B

Algemeen

Er worden aardbeien (ca. 23ha Sonata), frambozen (2ha) en asperges (1,5ha) geteeld. De 25 ha bouwland ligt verdeeld rondom het huisperceel waarop sinds 2 jaar kassen staan voor de frambozenteelt. In het voorjaar wordt de grond geploegd op 25 cm diepte. De aardbeien worden geteeld op strobedden (10-11 ton/ha). “In een goede bodem is de beworteling, vooral onderin de bouwvoor, goed en zorgen voldoende schimmels en bacteriën voor een goede bodemweerbaarheid”.

Maatregelen

Op jaarbasis wordt er ca. 25 ton groencompost per hectare aangevoerd. Sporadisch wordt er bijbemest met varkensdrijfmest. Verder wordt er tijdens de teelt bijbemest met 'slow release' NPK meststoffen. Eens in de vijf jaar wordt de grond standaard chemisch ontsmet, vooral tegen aaltjes. In de aardbeien wordt *Tagetes* ingezet als groenbemester.

Knelpunten & Kansen

- Zwartwortelrot als zwakteparasiet op percelen met veel aaltjes.
- Wortellesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*) en het noordelijk wortelknobbelaaltje (*Meloidogyne hapla*)
- Vroeger, toen er nog 150-200 ton stalmest mocht worden ingezet was de bodemkwaliteit beter en waren er meer regenwormen. Nu zorgt de fosfaatwetgeving hier voor een knelpunt.
- Ooit goede ervaringen met compostthee van Van Iersel en verbetering van het wortelstelsel in de ondergrond. W.s. lag dat aan een schimmel die erin zat. Helaas zijn de resultaten nadien niet meer herhaald.
- Effecten van te korten in sporen-elementen op weerstand van de plant?
- Optimalisatie van de inzet van compost (verschillen in kwaliteit)

Bedrijf C

Algemeen

Sinds 1980 worden er aardbeien verbouwd; 19 ha in de vollegrond, 1 ha in tunnels en sinds 2009 1 ha op stellingen. Daarnaast is er nog 4 ha huurland in gebruik als wachtbed. De profielopbouw is op de meeste plekken vrij gunstig: 40-50 cm zwarte grond en daaronder geel zand. Hier en der zitten plekken met leem of veen in de ondergrond. In het najaar worden de percelen geploegd op 25-30cm met een vorenpakker om zoveel mogelijk organisch materiaal bovenin de bouwvoor te houden. *Tagetes* wordt voor het ploegen geklepeld. "Een goede bodem heeft een gunstige structuur, organische stofgehalte, pH en vochthoudendvermogen zodat gewassen goed kunnen groeien. Een weerbare bodem heeft minder last van aaltjes en ziekten".

Maatregelen

Op jaarbasis wordt er ca. 30 ton groencompost per ha aangevoerd van Den Ouden. Naast compost wordt er bemest met NPK slow-release meststoffen. Meestal wordt *Tagetes* ingezet als groenbemester tegen aaltjes. "Bijkomend voordeel is dat de grond na *Tagetes* ook veel mooier is dan na een chemische grondontsmetting". Indien het te laat is voor *Tagetes* wordt ook wel rogge gezaaid om stikstof vast te leggen. Op de wachtbedden gaat de groenbemester vooraf aan het planten, op de percelen met tunnels volgt de groenbemester op de aardbeienteelt. Eens in de vijf jaar wordt natte grondontsmetting uitgevoerd. Tussen worden verdachte plekken geanalyseerd door Blgg of Groen AgroControl.

Knelpunten & Kansen

- Worteltesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*) en het noordelijk wortelknobbelaaltje (*Meloidogyne hapla*)
- *Xanthomonas* (bacterie) is gevaar in heel de regio. Kwaliteit van plantgoed en ras zijn belangrijk om besmetting te voorkomen.
- Biedt niet-kerende grondbewerking mogelijkheden voor verbetering van de bodemkwaliteit?

Bedrijf D

Algemeen

Het bedrijf ligt op mooie aardbeien grond. Sinds 1996 worden er alleen nog aardbeien geteeld. Het bedrijf is nu 40 ha groot, sinds 2003 30 ha aardbeien (2 rassen) voor de pluk en 12 ha plantopkweek. Het bedrijf staat open voor innovaties en regelmatig worden er proefjes aangelegd door derden. "De bodem is heel duidelijk de basis voor een geslaagde teelt. De kwaliteit van je zand (grofheid) en bodemopbouw zijn sterk bepalend voor je succes".

Maatregelen

Sinds 2003 wordt er geen drijfmest meer aangevoerd, alleen nog 30 ton/ha goed uitgecomposteerde groencompost (Den Ouden) en doorgecomposteerde stalmest (15 ton/ha). Verder wordt er bijgestuurd met kunstmest. Bodembewerking wordt uitgevoerd met een vaste tandcultivator (Smaragd) tot 50 cm diepte. De bewerking is erop gericht het organische materiaal in de bouwvoor te behouden. *Tagetes* wordt voor de grondbewerking eerst geklepel. Grondontsmetting wordt alleen uitgevoerd als het echt nodig is, niet standaard. Blgg doet een jaarlijkse bodemanalyse.

Knelpunten & Kansen

- Het uitgangsmateriaal moet ziekte vrij zijn, daar moet je goed op letten! De NAK certificatie gebeurt op zicht en is dus niet waterdicht.
- Worteltesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*)
- Het zou mooi zijn als er tussengewassen tegen *P. penetrans* en *M. hapla* ontwikkeld zouden worden.
- Aandacht voor spore-elementen kan winst opleveren. (Bij mij bleek een silicium tekort).

Bedrijf E

Algemeen

Het areaal bestaat uit ca. 80 ha preiteelt en 32 ha productie aardbeien. Bodemkwaliteit krijgt veel aandacht d.m.v. gerichte advisering van buiten het bedrijf op gebied van bemesting, planttijdstip en aaltjes. De bodem bestaat uit zand met, voor de regio, een relatief hoog organische stofgehalte (3-4%) en een bouwvoor van zwarte grond tot wel 80 cm diepte. Daaronder bevindt zich geel zand. "Een goede bodem heeft de juiste voedingsstoffen erin de juiste verhoudingen in zitten".

Maatregelen

Groenbemesters (bladrammenas of afrikaantjes) als tussengewas vóór de teelt. Gerichte inzet van compost met aanvullingen en af en toe gebruik van dierlijke mest. Indien de grond erom vraagt zware braak (soms ook een jaar lang waarbij grond bijgehuurd wordt). Over het algemeen wordt er goed op gelet dat het organische stofgehalte op peil blijft. Ook bedrijfshygiëne (schoonspuiten van machines) krijgen aandacht. Tenslotte is de juiste grondbewerking belangrijk; werken met brede banden, geen plassen op het land laten staan (indien nodig wordt zand bijgemengd, of wordt gedraineerd. Problemen worden pleksgewijs vlot aangepakt zodat slechte plekken zich niet uitbreiden). Om gericht te kunnen bijbemesten worden tijdens de teelt wekelijks bladmonsters genomen. Grondontsmetting wordt ca. eens in de vijf jaar uitgevoerd. Daarbij wordt wel eerst gekeken naar de aaltjes besmetting.

Knelpunten & Kansen

- Op natte stukken grond wel eens *Verticillium*.
- *P. penetrans*, *M. hapla*, *M. chitwoodi* en Trichodoriden komen voor, maar door precieze sturing weinig problemen.
- Bemesting op maat, op basis van intensieve bodemanalyse

Bedrijf F

Algemeen

Het areaal beslaat ca. 70 ha, waarvan ca. 30 ha aardbeien (productie, vermeerdering en wachtbed) en 40 ha prei. Vroeger werd er veel champignonmest uitgereden (tot 50 ton/ha). Tegenwoordig kan dat vanwege de mestwetgeving niet meer. Bij de bemesting wordt nu zo min mogelijk gebruik gemaakt van organische mest zodat er tijdens de teelt meer ruimte is om bij te sturen met kunstmest. Je ziet de bodemkwaliteit nu wel achteruit gaan. Het organische stofgehalte ligt tussen de 1 en 2%. Ca. 25 jaar geleden is het gehele bedrijf geëgaliseerd. De bouwvoor is ca. 30 cm diep en wordt geploegd. Groenbemesters en aardbeienplantgoed worden ingefreesd. De ervaring is dat op deze grond spitten niet goed uitpakt, de grond wordt een spons en zakt in. De percelen zijn gedraineerd om de 4 m. "Bodemkwaliteit is het vermogen van de grond om de plant in al het nodige te voorzien. Bodemweerbaarheid zegt iets over de mate waarin een grond ziektes kan onderdrukken en aaltjesproblemen onder controle kan houden. De bodem is bepalend voor de opbrengst".

Maatregelen

Teelt van afrikaantjes tegen *P. penetrans*. Er is wel met andere groenbemesters geëxperimenteerd maar die veroorzaakten alleen maar meer aaltjes (vooral *M. hapla*). Omdat afrikaantjes voor 1 augustus gezaaid moeten worden wordt ook wel zwarte braak toegepast. *M. hapla* kan daar niet goed tegen. Elke vijf jaar wordt grondontsmetting uitgevoerd.

Knelpunten

- Inzet van compost wordt steeds noodzakelijker, maar het risico op zware metalen in compost is een rede om het niet te doen.

- Wortelrot (vooral veroorzaakt door structuurproblemen, vocht), *Xanthomonas* (met plantgoed).
- *P. penetrans* en *M. hapla*; de ontwikkeling van een groenbemester voor in het najaar die aaltjes vermindert (anders dan *P. penetrans*) en die de structuur verbetert en in korte tijd veel biomassa geeft.
- Waarschijnlijk is over 10 jaar alle teelt uit de grond op stellingen. Dit systeem is wel gevoeliger voor schimmelziekten, maar met fungiciden blijft de schade beperkt. Grondteelt blijft economisch het meest interessant, maar dan moet er wel voldoende ruimte voor bemesting en gewasbescherming zijn.

Bedrijf G

Algemeen

Op 7 ha worden ca. 7 aardbeienrassen geteeld. De bouwvoor is wisselend van dikte, maar varieert van een zwarte laag van 30 tot 100 cm diepte en bevat gemiddeld 3% organische stof. Er zit geen leem in de ondergrond. De bodem wordt geploegd op 25-30 cm. De ervaring is dat bij minder intensieve bodembewerking (cultivator) de vertering van het organische materiaal niet snel genoeg verloopt. De laatste jaren wordt er vooral bemest met organische korrelmeststoffen. Soms wordt groencompost of geitenmest ingezet en soms wordt bijgestuurd met kalksalpeter. Jaarlijks worden bodemonsters genomen om de voedingstoestand in de bodem te volgen. "In een gezonde bodem is het bodemvoedselweb in balans en heeft de bodem de kracht om ziekten en plagen te onderdrukken. Bodemstructuur speelt daarbij een belangrijke rol".

Maatregelen

Groenbemesters indien nodig, soms een jaar lang. Bemesting met organische meststoffen en op maat. De grond wordt al 15 jaar niet meer chemisch ontsmet.

Knelpunten

- Juiste voedingstoestand is belangrijk. Sporenelementen (o.a. borium) zijn daarbij belangrijk.
- Soms problemen met *Phytophthora* of vruchtrot, maar beide ziekten zijn goed bespuitbaar.
- Spint, luizen en trips geven soms ook problemen, maar natuurlijke vijanden zijn wel aanwezig.
- Aaltjes zitten er wel, maar geven geen problemen. Slechte plekken worden eerder veroorzaakt door slechte bodemstructuur en/of wateroverlast.
- Zolang er middelen beschikbaar zijn worden problemen met ziekten en plagen niet als zodanig ervaren.

Bedrijf H

Algemeen

De percelen zijn vooral zand met enkele leemhoudende stukken. Vroeger was het vooral weiland. Sinds 2000 is de teler biologisch en nu leverancier voor Demeter (biologisch-dynamisch). Het bedrijf bestaat uit 7 ha tuinbouw met aardbei als hoofdgewas (2 á 3 ha) dat in rotatie wordt geteeld met spruiten, chinese kool, venkel, prei, andijvie en batavia sla. De teler heeft een visie die duidelijk aansluit bij die van Demeter: Biologisch boeren kan het beste hand

in hand met de natuur in plaats van ertegen, daarin horen juist die gewassen die bij het seizoen en perceel passen om het gewas een zo “natuurlijk” mogelijke omgeving te bieden.

Maatregelen

Het streven is elk gewas in 1:6 rotatie te telen, maar dat verschilt soms omdat niet alle gewassen even makkelijk liggen in de rotatie in verband met de teeltduur. Vroeger werd er altijd bemest met paardenmest toen die nog niet onder de mestwetgeving viel. Sindsdien met zeer rulle GFT compost van een nabijgelegen composteerder. Heel soms wordt bijgestuurd met kippenmestkorrels om bijvoorbeeld chinese kool de nodige beginspurt te geven. Al vrij snel sinds omschakeling is hij overgegaan op niet-kerende grondbewerking (vastetand cultivator) en vaste rijpaden. De bodem wordt in de gaten gehouden door een adviseur van HortiNova. Toen er een keer een aaltjesprobleem was heeft die geadviseerd Melasse met 20 l/ha toe te passen: Dat hielp uitstekend met de verklaring dat het hoge glucose gehalte bacteriën zodanig stimuleert dat de aaltjesgemeenschap op de kop wordt gezet waarbij de plantparasitaire aaltjes het onderspit delven. Verder nauwelijks last van ziekten of plagen: “Leven hoort op het land, ik ben best tolerant wat dat aan gaat”.

Wel is er een constant risico van vruchtrot. Tarwestro leverde wat dat betreft een probleem op omdat de zaden in het stro al snel de aardbei overwoekerde. Daarom gebruikt hij nu hooi om de aardbeien schoon te houden. Hij legt het pas uit zodra de planten al 20cm hoog zijn zodat het beetje gras wat alsnog opkomt niet de kans krijgt de aardbeien te overwoekeren. Een oplossing zou kunnen zijn het stro eerst twee jaar op te slaan zodat het geen kiemkracht meer heeft.

Als groenbemester gebruikte hij vroeger winterrogge, maar doordat dat gewas lang groeit konden aaltjes beter overwinteren. Nu gebruikt hij een mengsel van lupine, boekweit en *Phacelia* (haver/wikke bij late teelten) in de overtuiging dat “veel en diversiteit” minder kans biedt voor plagen. Hij geeft ook veel minder water, dat maakt het gewas taaier en resistentier tegen zowel schoffelen als tegen plagen en ziekten. Desondanks, en ondanks de lagere plantendichtheid, is de opbrengst per hectare slechts 1/3 lager dan in gangbare teelten. De hogere prijs uit de afzetmarkt maakt dat goed, HortiNova is er bovendien van overtuigd dat naar een optimalere opbrengst gewerkt kan worden.

Knelpunten & Kansen

- Weinig last van ziekten en plagen door vruchtwisseling.
- Wat is het effect van de verschillende voorvruchten op hoe goed de aardbeien het doen?
- Onkruid (vooral muur) blijft een probleem: Vaak het land op om te wieden.
- Hebben de groenbemester-mengsels een gunstig effect op het bodemleven?

Bijlage 3: Verslag van de workshop Bodem tijdens de landelijke FAB-dag op 14 januari 2009 te Bunnik

In twee sessies van een half uur werden aan ruim 80 deelnemers drie vragen voorgelegd:

- 1) Wat verstaat u onder 'bodemweerbaarheid'?
- 2) Hoe bepaalt u of percelen weerbaar zijn?
- 3) Welke maatregelen kent of neemt u om de bodemweerbaarheid te versterken?

De deelnemers waren telers, adviseurs en onderzoekers.

De antwoorden op de vragen waren zeer divers, maar er was wel een algemene lijn zichtbaar. Uit de inbreng bleek het belang van een systeembenadering met oog voor zowel fysische, chemische als biologische bodemeigenschappen. Als belangrijkste signaal van een weerbare bodem kwam een goed groeiend, productief gewas naar voren. Voor grondanalyses zochten de deelnemers vooral fysische en chemische indicatoren, maar ook aanwezigheid van schadelijke organismen. De belangrijkste maatregelen die werden genoemd ter bevordering van bodemweerbaarheid vielen uiteen in (groen)bemesting en bodembewerking. Daarbij werd vooral de organische stofhuishouding (o.a. door inzet van compost) genoemd als belangrijke factor om goed op orde te houden.

Hieronder volgt een nadere bespreking van de 3 deelvragen.

Vraag 1 "Wat verstaat u onder 'bodemweerbaarheid'?"

Telers verstaan onder bodemweerbaarheid vooral bodemeigenschappen die het gewas goed doen groeien:

"waterdoorlatendheid", "structuur", "een bodem die een natte winter of een droge zomer overleeft", "land dat tegen een stootje kan", "voldoende mineralen en organische stof", "balans in pH", "balans in het bodemleven" en "aanwezigheid van nuttige organismen". De bodem moet volgens hen een "bufferend vermogen" hebben en kunnen "herstellen na stress".

Aanwezige adviseurs en onderzoekers zien weinig verschil tussen de termen bodemweerbaarheid en ziekteverendheid: beide gaan over "het natuurlijk vermogen van de bodem om ziekten en plagen te reguleren" (Michiel Rutgers), "een grond is ziekteverend wanneer de schade in het gewas minder is dan volgens de ziektedruk verwacht mag worden. Je zou de term ziekteverendheid nog wel concreter moeten maken want een grond is alleen ziekteverend tegen ziekte "X" en niet tegen alle ziekten" (Joeke Postma). "De term ziekteverendheid is concreter dan bodemweerbaarheid (Aad Termorshuizen). Bodemweerbaarheid is de capaciteit van de grond om een plant zo te laten groeien dat hij niet ziek wordt" (Johan van der Logt).

Vraag 2: "Hoe bepaalt u of percelen weerbaar zijn?"

Telers, adviseurs en onderzoekers zijn het erover eens dat gewasgroei de beste indicator is voor een gezonde bodem. Een bedrijfseconomische analyse (kosten-baten) kan hierbij verdiepend inzicht geven. Telers beoordelen hun bodems vooral op ervaring: "kijk naar hoe hij valt", "let op natte plekken", "rij een rondje langs percelen bij extreme situaties zoals langdurige neerslag en kijk wat je ziet". Daarnaast worden ook bodemanalyses (organische stofgehalte, pH, CEC, mineralen) en bodembeoordelingen (profielkuil, verdichting) genoemd als indicatoren voor de weerbaarheid van een perceel. Opvallend genoeg beperken de metingen en waarnemingen zich grotendeels tot de

chemische en fysische aspecten van de bodem. Er wordt twijfel uitgesproken over de geloofwaardigheid van analyses aan het bodemleven: "wat moet je met de uitslagen?" en de meerwaarde ervan: "de chemische- en fysische aspecten vormen het huis voor het bodemleven, als die in orde zijn, weet je dat het met het bodemleven wel goed zit". Anderzijds is er vanuit de praktijk wel behoefte aan goede indicatoren voor het bodemleven. Adviseurs maken bij de bodembeoordeling gebruik van verschillende instrumenten: directe waarneming (stand van het gewas), bodemanalyses (chemisch en aaltjes), indringingsweerstand en kennis over het bouwplan. Onderzoekers noemen "organische stofkwaliteit" en "afbraaksnelheid van organische stof" (Marjoleine Hanegraaf) en biotoetsen (Joeke Postma) als indicatoren voor bodemweerbaarheid.

Vraag 3: "Welke maatregelen kent of neemt u om de bodemweerbaarheid te versterken?"

Er worden maatregelen genoemd met betrekking tot bemesting, bodembewerking en bouwplan. Ook het belang van een visie op je bodemkwaliteit, "een beeld van je ideaal", wordt als noodzakelijk gezien om de juiste maatregelen te kunnen kiezen en zo te kunnen sturen. Op zwaardere gronden gaat het vooral om "de juiste timing van maatregelen" (vooral bodembewerking) en "de juiste keuzes in de mechanisatie" (minimale grondbewerking, ploegen, bandenspanning, etc.). Door alle partijen wordt "het verhogen van het organische stofgehalte", door inzet van compost of vaste mest, als belangrijke maatregel genoemd. Daarnaast wordt verruiming van de vruchtwisseling, o.a. door het inpassen van groenbemesters, genoemd als maatregel om ziekten en plagen te beheersen en nutriënten vast te houden.



In totaal waren er rond de 80 deelnemers bestaande uit akkerbouwers, adviseurs en onderzoekers.



Na afloop werden middels geeltjes de antwoorden die niet ter sprake kwamen verzameld en verwerkt in dit verslag.

Bijlage 4: Maatregelen ter verbetering van bodemgezondheid op Vredepeel

Biologische grondontsmetting: in augustus is 50 ton/ha organisch materiaal (in dit geval Italiaans raaigras) op de veldjes ingewerkt en vervolgens minimaal 12 weken afgedekt met plastic. Bij de omzetting van het organische materiaal ontstaan verschillende afbraakproducten en wordt zuurstof onttrokken waardoor het bodemleven verandert (Lamers, 2004).

Teelt van afrikaantjes: vanaf eind juli tot en met half december worden op sommige veldjes afrikaantjes (*Tagetes patula*) geteeld. Het is bekend dat wortellessieaaltjes door aanprikken van de wortels actief gedood kunnen worden (Timmer, 2003, Evenhuis, 2004). Met betrekking tot andere gevolgen op het bodemleven is echter zeer weinig bekend.

Compost: bij de toediening van compost wordt geprobeerd om factoren, zoals de bodemstructuur, de organische stof voorraad en het leefmilieu van het bodemleven te verbeteren (Blok, 2000). Daarnaast is vanuit onderzoek bekend dat compost signalen van de plant (zoals wortellexudaten) naar aaltjes zou kunnen verstoren, zodat de aaltjes de plant minder belagen (Hartsema, 2005).

Chitine: in één van de behandelingen is chitine (in dit geval in de vorm van gemalen garnalen afval) aan de grond toegevoegd. Vanuit literatuur is bekend dat bij de omzetting van dit materiaal o.a. ammoniak ontstaat, dat kan leiden tot directe doding van bodemorganismen zoals aaltjes. Daarnaast reageren de in de bodem aanwezige chitinolytische micro-organismen die het chitine gaan afbreken. Over de gevolgen van eventuele omzettingsproducten en of diezelfde organismen ook andere bodemorganismen zoals aaltjes en aaltjeseieren gaan gebruiken als voedselbron is nog weinig bekend.

Niet-biologische grondontsmetting: in het geïntegreerde systemen wordt in september een natte grondontsmetting met Monam uitgevoerd. Hierbij wordt in een werkgang 300 L/ha Monam ingebracht, waarna de grond dichtgerold wordt. Hierdoor kan het giftige gas zijn dodelijke werking uitvoeren, waarbij normaal gesproken 60-80 % van het bodemleven afsterft. Binnen de biologische bedrijfssystemen, is de inzet van chemie niet toegelaten en moest een biologisch product gezocht worden. Uiteindelijk is Caliënte, een natuurlijk product gebaseerd op vloeibaar mosterdzaad, geselecteerd.

Teelt van gras-klover: vanaf eind juli wordt een gras-klover mengsel geteeld. Groenbemesters leggen verschillende nutriënten vast, leveren organische stof en zijn vaak positief voor de bodemstructuur. De groenbemesters kunnen echter ook waardplant zijn voor bodemorganismen, zoals plantparasitaire aaltjes of (mycorrhiza)schimmels. Hierdoor lijkt het netto resultaat (positief of negatief) afhankelijk van verschillende factoren, zoals het aanwezige bodemleven en de gewasrotatie.

Fysische grondontsmetting met Cultivit: Cultivit is een experimenteel concept van VDL (Van der Leegte Groep) gebaseerd op het behandelen van grond met hete lucht. In het voorjaar van 2007 zijn 16 veldjes met deze machine behandeld (Runia 2006)

Biofumigatiegewas: hierbij worden gewassen geteeld met inhoudstoffen, zoals glucosinolaten. Enkele voorbeelden van dergelijke gewassen zijn koolsoorten, bladrammenas en mosterd (Matthiessen, 2006). Als deze gewassen ingewerkt worden in de bodem, zullen de glucosinolaten omgezet worden in isothiocyانات, die giftig zijn en qua werking erg veel lijken op het natte grondontsmettingsmiddel metamnatrium.

Combinatie strategie: hierbij worden achtereenvolgens afrikaantjes geteeld en chitine en compost aan de veldjes toegevoegd. Dit lijkt een dure oplossing maar het is voorstelbaar dat de verschillende maatregelen elkaar aanvullen, waardoor er een beter (of duurzamer) effect is op de bodemgezondheid.

Literatuur:

Blok WJ, Lamers JG, Termorshuizen AJ en Bollen GJ. 2000. **Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping.** *Phytopathology* 90 (3): 253-259.

Evenhuis B, Korthals GW en Molendijk LPG. 2004. ***Tagetes patula* as an effective catch crop for long term control of *Pratylenchus penetrans*.** *Nematology*, vol. 6: 877-881.

Lamers J, Wanten P en Blok W. 2004. **Biological soil disinfection: a safe and effective approach for controlling soilborne pests and diseases.** *Agroindustria*, 3: 289-291.

Hartsema OH, Koot P, Molendijk LPG, Berg W van den, Plentinger MC en Hoek J. 2005. **Rotatie-onderzoek *Paratrichodorus teres* (1991-2000).** PPO, Vredepeel.

Matthiessen JN en Kirkegaard JA. 2006. **Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management.** *Critical reviews in Plant Sciences*, 25: 235-265.

Runia WT, Molendijk LPG, Neophytou G en Greenberger A. 2006. **Soil treatment with hot air (Cultivit) as alternative to methyl bromide.** *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, Ghent University 71/2a:185 – 92.

Timmer RD, Korthals GW en Molendijk LPG. 2003. **Groenbemesters van teelttechniek tot ziekten en plagen,** 6-03.