



***Aardbei op  
weerbare bodem***

*Benutten van  
natuurlijke functies  
voor het leveren van  
ecosysteemdiensten*

*Willemijn Cuijpers  
Paul Belder  
Marleen Zanen*

**LOUIS BOLK**  
I  
N  
S  
T  
I  
T  
U  
T





*Dit onderzoek is uitgevoerd in een  
consortium van Louis Bolk Instituut,  
ZLTO en Alterra*

**LOUIS BOLK**  
I N S T I T U U T



© 2012 Louis Bolk Instituut  
Aardbei op weerbare bodem - benutten van  
natuurlijke functies voor het leveren van  
ecosysteemdiensten  
Ir. Willemijn Cuijpers, Dr. Ir. Paul Belder,  
Ir. Marleen Zanen  
Publicatienummer 2012-024 LbP

[www.louisbolk.nl](http://www.louisbolk.nl)

# Voorwoord

Voor u ligt het verslag van het project 'Aardbei op weerbare bodem – benutten van natuurlijke functies voor het leveren van ecosysteemdiensten –'. Aardbei is economisch gezien een belangrijk gewas, maar gevoelig voor ziekten en plagen. In de teelt worden daarom relatief veel gewasbeschermingsmiddelen gebruikt. Vanuit het oogpunt van (grond)waterkwaliteit is een vermindering van het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen wenselijk. Het stimuleren van de natuurlijke ziekteverendigheid van de bodem kan daarbij een sleutelrol vervullen.

Het onderzoek bouwt voort op bestaande kennis op het gebied van bodemweerbaarheid, die door het Louis Bolk Instituut is opgebouwd binnen LNV programma's voor de biologische bedekte teelten. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van een perspectievolle biotoets voor het aantonen van bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora cactorum* waarmee het LBI ervaring heeft opgedaan binnen het project Functionele Agro Biodiversiteit (FAB-II).

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het SKB programma 'Duurzame ontwikkeling van de ondergrond' (DOO) en mede mogelijk gemaakt dankzij financiering vanuit de stuurgroep Landbouw Innovatie Noord-Brabant (LIB), het Productschap Tuinbouw (PT) en de Triodos Bank. Het onderzoek is uitgevoerd binnen een consortium met ZLTO en Alterra. ZLTO heeft nauw contact met de aardbeientelers en vertegenwoordigers binnen de gewascommissie. Henny van Gurp was vanuit ZLTO nauw bij het project betrokken als belangenbehartiger. Daarnaast was Alterra een belangrijke partner in de uitvoering van het project. De expertise op het gebied van bodemleven die door Jaap Bloem werd ingebracht was onmisbaar voor de analyse van de gegevens van de verschillende bedrijven. Vanuit de gewascommissie aardbei is een aantal aardbeientelers nauw bij het project betrokken geweest. Hiervoor willen we in het bijzonder Toon van den Berg en Jan Pertijs bedanken.

Dank gaat ook uit naar Jan Lamers (PPO-AGV) voor de opkweek van het *Phytophthora inoculum*. In een eerder stadium zijn LBI en PPO-AGV beiden betrokken geweest bij de ontwikkeling van de biotoets. Bij het onderzoek is een expertgroep betrokken geweest, die input en commentaar geleverd heeft op de uitvoering en uitwerking van het onderzoek. Graag willen we Joeke Postma, Jaap Bloem, Harm Keidel, Aad Termorshuizen en Sjoerd Smits bedanken voor hun aanvullingen en kritische noten. Tenslotte dank voor onze interne ondersteuning bij de uitvoering van communicatie activiteiten: Leen Janmaat, de bodembeoordelingen: Jan Bokhorst en de biotoets: Riekje Bruinenberg en Hans Dullaert.

De auteurs,  
Driebergen, juli 2012



# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>Summary</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
<b>2 Vraagstelling en onderzoeksdoel</b>	<b>13</b>
<b>3 Materiaal en methode</b>	<b>15</b>
3.1 Selectie deelnemende bedrijven	15
3.2 Bodembemonstering en analyses	15
3.3 Biotests	15
3.4 Statistische analyse	17
<b>4 Resultaten</b>	<b>19</b>
4.1 Bedrijfstypen	19
4.2 Biotests	20
4.3 Bodemanalyses	21
4.3.1 <i>Bodemchemische indicatoren</i>	21
4.3.2 <i>Bodembioologische indicatoren</i>	25
4.3.3 <i>Bodempysische indicatoren</i>	33
4.4 Relatie bodemparameters en weerbaarheid	34
4.4.1 <i>Relatie bodemparameters en absolute bodemweerbaarheid</i>	34
4.4.2 <i>Relatie bodemparameters en relatieve bodemweerbaarheid</i>	37
<b>5 Discussie</b>	<b>43</b>
<b>6 Conclusies</b>	<b>45</b>
<b>Literatuur</b>	<b>47</b>



# Samenvatting

Aardbei is één van de belangrijkste tuinbouwgewassen in Nederland, en bevindt zich geconcentreerd op de lichte gronden van Noord-Brabant en Limburg. De teelt van aardbei vindt plaats in een - ook voor de bodem - intensief systeem. Een aantal bodemschimmels speelt in de aardbeienteelt een rol: *Phytophthora*, *Verticillium*, *Colletotrichum* en het ziektecomplex zwartwortelrot, veroorzaakt door *Cylindrocarpon*, *Pythium*, *Fusarium* en *Rhizoctonia*. De weerstand van de bodem tegen ziekten en stress is een belangrijke eigenschap van de grond. In het hier beschreven onderzoek zijn 11 gronden van aardbeienbedrijven in Noord-Brabant en Limburg onderzocht op bodemweerbaarheid. In de gronden zijn daarnaast een groot aantal biologische, chemische en fysische parameters gemeten, om te kijken welke factoren een verband vertonen met bodemweerbaarheid. Daarnaast is gekeken of management maatregelen op bedrijven, met name bemesting met organische meststoffen en het gebruik van chemische grondontsmetting, effect hebben op bodemweerbaarheid.

De bodemweerbaarheid van de gronden is gemeten met een biotoets. Hierbij worden de gronden kunstmatig besmet met *Phytophthora cactorum*, de veroorzaker van stengelbasisrot. De schimmel krijgt vervolgens een week lang de kans zich in de grond te vestigen, terwijl het aanwezige bodemleven de kans krijgt om de schimmel te onderdrukken. Vervolgens worden op de grond aardbeiplanten gezet. De snelheid en sterkte waarmee de planten ziek worden, is een maat voor de bodemweerbaarheid. Daarnaast worden alle gronden ook gesteriliseerd, waardoor al het bodemleven gedood wordt. Ook de gesteriliseerde gronden worden besmet met de schimmel. In de meeste gronden werden de aardbeiplanten sneller ziek op de gesteriliseerde grond. Dit betekent dat het bodemleven bijdraagt aan de bodemweerbaarheid. In een paar gronden werden de aardbeiplanten juist minder snel ziek na sterilisatie. In deze gronden is de bodemweerbaarheid verslechterd door het aanwezige bodemleven.

In de gronden zijn relaties gevonden tussen chemische en biologische factoren, en de mate van bodemweerbaarheid. Het sterkste verband werd gevonden met borium, een element dat in hoge concentraties toxisch is voor aardbei. Hoge boriumgehalten in de grond verslechterden de weerbaarheid. Nitraat en organische stof waren beide op een positieve manier gerelateerd aan bodemweerbaarheid. Regressiemodellen laten een minder sterk verband zien met biologische factoren dan met de chemische factoren. De sterkste relatie werd gevonden met het percentage ongekleurde, inactieve schimmels in de grond. Meer inactieve schimmels waren gerelateerd aan een betere bodemweerbaarheid. Mogelijk duidt dit op het mechanisme van fungistase: nieuwe schimmels kunnen zich moeilijk vestigen, door een tekort aan suikers of voedingselementen in de grond. Daarnaast vinden we een relatie met het aantal dauerlarven in de grond. Een hoger aantal dauerlarven is gerelateerd aan een slechtere bodemweerbaarheid. In de gronden vinden we een zeer sterke correlatie tussen het aantal dauerlarven en de verrijkings index. De verrijkings index is afgeleid uit de samenstelling van de nematodengemeenschap in de grond, en een indicator voor de mate van verrijking van het agro-ecosysteem. Gronden met een sterke mate van verrijking laten dus een slechtere bodemweerbaarheid zien. Bodemweerbaarheid is ook gerelateerd aan de frequentie van celdeling van de bacteriën in de bodem: een hogere frequentie, en een hogere bacterie-activiteit,

geeft een betere bodemweerbaarheid. Tenslotte is de schimmel/bacterie verhouding gerelateerd aan de mate van weerbaarheid tegen *Phytophthora*. Hoe lager de verhouding, hoe sterker de weerbaarheid. Dit betekent dat het vooral de bacteriën, en de mate waarin ze actief zijn, verantwoordelijk zijn voor de bodemweerbaarheid.

Uit het onderzoek blijkt geen direct verband tussen management maatregelen op de bedrijven en de mate van bodemweerbaarheid. De data analyse is uitgevoerd met behulp van de organische bemesting van het afgelopen jaar. Wellicht is deze parameter teveel gerelateerd aan korte termijn effecten, en zijn juist de lange termijn effecten die tot uitdrukking komen in bijvoorbeeld het organische stofgehalte van de grond veel belangrijker. Hoewel de biotoets liet zien dat sterilisatie van de gronden bij de meeste bedrijven een negatief effect had op de bodemweerbaarheid, hebben we geen directe relatie gevonden tussen bodemweerbaarheid en de periode tot de laatste chemische grondontsmetting van de bodem. Dit heeft wellicht te maken met de veronderstelling dat bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora* voor het grootste gedeelte gebaseerd is op de algemene activiteit van het bodemleven, en maar beperkt op de specifieke aanwezigheid van antagonisten. Deze laatste specifieke soorten zijn waarschijnlijk veel gevoeliger voor verstoring door grondontsmetting.



# Summary

Strawberry is one of the most important horticultural crops in The Netherlands. Cultivation is mainly concentrated on the light soils of the provinces of Noord-Brabant and Limburg. Strawberry cultivation takes place in a - also for the soil - highly intensified system. A number of fungal soil-borne diseases can effect strawberry cultivation: *Phytophthora*, *Verticillium*, *Colletotrichum* and the causal agents of black root rot: *Cylindrocarpon*, *Pythium*, *Fusarium* and *Rhizoctonia*. The resistance against diseases and stress is an important feature of the soil. In the following research, 11 soils of strawberry growers in Noord-Brabant and Limburg are examined for disease suppressiveness. Soils are examined for a number of biological, chemical and physical characteristics, in order to relate those parameters to the degree of disease suppressiveness. Strawberry growers were interviewed on management practices, in particular on the application of organic manure and compost, and on the frequency and use of chemical soil disinfestation.

Soil suppressiveness has been measured using a bioassay. The soils were artificially inoculated with *Phytophthora cactorum*, the causal agent of root and crown rot in strawberry. During one week, *Phytophthora* is allowed to colonize the soil, while at the same time the present beneficial soil organisms may suppress the disease. After this period, strawberries are planted into the infected soils. The speed and severity of disease development, are an indication for disease suppressiveness of the soils. In a second treatment, all soils are sterilized, in order to kill all soil organisms, and subsequently inoculated with the pathogen. In most soils, strawberry plants became more diseased on the sterilized soils. In these soils, the soil life contributes positively to disease suppressiveness. In a few of the soils, strawberry plants became less diseased after sterilization. These soils are conducive to disease.

The examined soils showed relationships between suppressiveness and biological and chemical characteristics of the soil. The strongest relationship was found with boron, an element which can be toxic for strawberry in high concentrations. Higher concentrations of boron were related with a lower degree of disease suppressiveness. Nitrate and organic matter contents of the soil are both in a positive way related to suppressiveness. Regression models showed less paramount relationships with biological than with chemical soil properties. The strongest relationship is found with the percentage of unstained, inactive fungal hyphae in the soil. A higher percentage of inactive hyphae are related with a higher amount of suppressiveness. This may point in the direction of the mechanism of fungistasis: new fungi have difficulty colonizing the soil, caused by a shortage of carbon sources or micronutrients. We also find a relation with the number of dauerlarvae in the soil. A higher number of dauerlarvae is related to a lower suppressiveness. In the soils, we also find a very high correlation between the number of dauerlarvae and the enrichment index. The enrichment index is computed from the composition of the nematode community, and an indicator for the degree of enrichment in the agro-ecosystem. Soils with a high degree of enrichment are inclined to have a lower disease suppressiveness. Suppressiveness is also related to the frequency of dividing cells of soil bacteria: a higher frequency, and a higher bacterial activity are related to a higher degree of disease suppressiveness. The fungal/bacterial ratio is also related to the degree of suppressiveness

against *Phytophthora*. A lower ratio is related to a higher degree of suppressiveness. This indicates that especially bacteria, and their degree of activity, are responsible for suppressiveness against *Phytophthora*.

The investigated strawberry fields do not show a direct relationship between farm management practices and the degree of suppressiveness. The data analysis was conducted using data of organic manure and compost applications in the previous year. This parameter may reflect more short term effects, while long term effect which are expressed by organic matter contents of the soil are more important. Although the bioassay shows clearly that, in most cases, soil sterilization is detrimental to disease suppressiveness, we could not find a direct relationship with the latest application of chemical soil disinfestation on the fields. This may be related to the assumption that disease suppressiveness against *Phytophthora* is mostly based on general activity of soil microflora, and only to a limited extent on the specific presence of antagonists. The latter species may be much more vulnerable to soil disinfestation.

# 1 Inleiding

Aardbei is één van de belangrijkste tuinbouwgewassen in Nederland. Het teeltoppervlak in de volle grond bedraagt ± 3211 hectare, met een jaarlijks toenemend areaal onder glas en in tunnels. De productie onder glas is veel intensiever dan in de volle grond. In beide takken wordt ongeveer 21 miljoen kilo aardbeien geproduceerd (CBS, 2012). Ongeveer 74% van het areaal aardbeien in de volle grond bevindt zich momenteel in Noord-Brabant (VDWresearch, 2009), 13% in aangrenzende gebieden in Limburg, 5,5% in Flevoland, Gelderland en Drenthe, en de resterende 3,5% ligt verspreid over de overige provincies.

Aardbei is een ziektegevoelig gewas, geteeld in een - ook voor de bodem – intensief systeem, waarin relatief veel gewasbeschermingsmiddelen worden gebruikt. Gemiddeld wordt in de open teelt van aardbei 5,8 kg/ha actieve stof aan gewasbeschermingsmiddelen gebruikt, waarvan het grootste deel (4,3 kg/ha) bestaat uit fungiciden. In de aardbeienteelt zijn een aantal bodemschimmels problematisch: *Phytophthora*, *Verticillium* en *Colletotrichum*, maar daarnaast ook het ziektecomplex zwartwortelrot, dat veroorzaakt wordt door *Cylindrocarpon*, *Phythium*, *Fusarium* en *Rhizoctonia* (Vermunt, 2008). In de teelt van aardbei is stengelbasisrot een veel voorkomende wortelziekte die wordt veroorzaakt door de bodemschimmel *Phytophthora cactorum*. De ziekte komt vooral voor op percelen met een slechte bodemstructuur, bij waterstagnatie of op slempgevoelige gronden. In de aardbeienteelt worden twee groepen fungiciden gebruikt voor volveldsbestrijding van stengelbasisrot: het systemische fungicide Aliette, en het fungicide Paraat. Vanuit het oogpunt van (grond)waterkwaliteit is een vermindering van het gebruik van chemische gewasbeschermingsmiddelen wenselijk. Daarnaast daalt het aantal toegelaten middelen. Daarom is het belangrijk om de natuurlijke weerbaarheid van bodems tegen ziekten en plagen optimaal te benutten. Door voortdurende aanscherping van de toegestane gewasbeschermingsmiddelen, komt *de bodem als stuurinstrument* nadrukkelijk in beeld.

De weerstand van de bodem tegen stress, ziekten en plagen vormt een belangrijke ecosysteemdienst voor de teler. Een weerbare bodem betekent dat de plant niet direct ziek wordt als er een pathogeen in de bodem terechtkomt. Door het aanwezige bodemleven wordt de ziekteverwekker uitgeschakeld of onderdrukt. Een biotoets is een methode waarmee de ziekteverwekkende vermogen van een bodem tegen een bepaald pathogeen kan worden gemeten. De mate van ziekteverwekkende vermogen kan met een aantal factoren in de bodem samenhangen. Deze kunnen biologisch, chemisch of fysisch van aard zijn. Als de bodem goed in staat is om de functie van ziekteverwekkende vermogen te vervullen, zullen er minder gewasbeschermingsmiddelen nodig zijn tijdens de teelt.



## 2 Vraagstelling en onderzoeksdoel

In dit project willen we de relatie onderzoeken tussen de ecosysteemdienst bodemweerbaarheid, en de abiotische en biologische eigenschappen van de bodem. Daarnaast willen we kijken naar de maatregelen die op bedrijven genomen worden (bemesting, algemene teeltmaatregelen, gebruik van gewasbeschermingsmiddelen) en de mate van bodemweerbaarheid die we op de bedrijven vinden.

### **Onderzoeksdoel**

Het doel van het project is om te kijken welke bodemeigenschappen een rol kunnen spelen in het ontstaan van bodemweerbaarheid van aardbeigronden, en of er een relatie bestaat tussen teeltmaatregelen en de mate van bodemweerbaarheid op de bedrijven.

Daarvoor moeten de volgende vragen beantwoord worden:

- Zijn er verschillen tussen bedrijven in bodemweerbaarheid tegen stengelbasisrot (*Phytophthora cactorum*)?
- Zijn er verbanden tussen de fysisch-chemische (abiotische) en/of biologische eigenschappen van de bodem en de mate van bodemweerbaarheid?
- Zijn er verbanden tussen de teeltmaatregelen op het bedrijf en de bodemweerbaarheid?





## 3 Materiaal en methode

### 3.1 Selectie deelnemende bedrijven

Aardbeienteelt in de vollegrond bestaat uit doordragers, wachtbedplanten en gekoelde teelt. Gekoelde teelt betekent dat planten worden gekoeld bij  $-0,5^{\circ}\text{C}$  waarna ze vervolgens worden uitgeplant om na zo'n 8 weken de eerste vruchten te dragen. Op deze manier hopen aardbeitelers gedurende een lang seizoen van eind april t/m begin oktober verse aardbeien te kunnen oogsten. Daarnaast worden ook aardbeien op stellingen in kassen geteeld. In totaal zijn 11 telers geselecteerd die bereid waren aan het onderzoek mee te doen. Alle telers zijn bevestigd over bemesting, grondontsmetting, type grondbewerking, areaal aardbei, vruchtwisseling, teelt van groenbemesters en bodemziekten.

### 3.2 Bodembemonstering en analyses

Op ieder bedrijf zijn in het voorjaar van 2011 grondmonsters genomen (0-20 cm diepte) voor chemische en biologische analyse en is tegelijkertijd grond verzameld voor het uitvoeren van een biotoets naar de bodemweerbaarheid van de gronden. De chemische analyses zijn standaard analyses van hoofd- en sporenelementen, uitgevoerd door BLGG. Daarnaast zijn de grondmonsters geanalyseerd op organische stof, C-totaal, C-organisch, N-totaal, P-AL, lutum en koolzure kalk. Microbiologische parameters zijn geanalyseerd in het laboratorium van Alterra (biomassa bacteriën, biomassa schimmels en labiele koolstof (hot water extractable carbon). Aantallen en soorten nematoden zijn geanalyseerd door BLGG. De bodemademhaling en biomassa en aantallen regenwormen zijn bepaald door het LBI. De regenwormen zijn in het najaar bemonsterd, omdat het voorjaar van 2011 zeer droog was. De fysische bodemkwaliteit is beoordeeld door middel van profielkuilen en door bepaling van de indringingsweerstand met behulp van een penetrometer (LBI).

### 3.3 Biotoets

Op 9 juni 2011 is een biotoets ingezet. De biotoets is uitgevoerd met *Phytophthora cactorum* (stengelbasisrot) in een semi-geconditioneerde kasruimte van Unifarm in Wageningen. Hiervoor zijn potten gevuld met grond van de 11 bedrijven waarbij de helft van de grond was gesteriliseerd door middel van gamma-sterilisatie (Gammatron, Ede). Vervolgens is de helft van de gesteriliseerde en niet-gesteriliseerde grond besmet met *P. cactorum* zodat er 4 behandelingen ontstonden:

- Niet-gesteriliseerde grond, onbesmet;
- Gesteriliseerde grond, onbesmet;
- Niet-gesteriliseerde grond, besmet;
- Gesteriliseerde grond, besmet.

De besmetting met *P. cactorum* is uitgevoerd met behulp van inoculum gekweekt op haverkorrels. De besmette haverkorrels zijn in een dosering van 3% (v/v) door de grond gemengd. De potten zijn gevuld met grond waarna in iedere pot één jonge aardbeiplant is geplant. Nadat de eerste ziekteverschijnselen in de planten te zien waren, zijn ze drie keer per week gescoord met behulp van

een ziekte-index (zie Tabel 3-1). Tijdens de biotoets hebben de planten naar behoefte water gekregen. Vanaf week 4 zijn de aardbeiplanten bijbemest met een Hoagland oplossing.

**Absolute en relatieve AUDPC** Een veel gebruikte maat voor bodemweerbaarheid is de *Area Under the Disease Progressive Curve* (AUDPC). De AUDPC geeft een beeld van zowel de snelheid van de ziekte-ontwikkeling, als de ernst van de ziekte-ontwikkeling. Het verloop van de ziekte-index kan uitgezet worden in de tijd. De oppervlakte onder deze curve is de AUDPC. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen de absolute AUDPC en de relatieve AUDPC. De absolute AUDPC wordt berekend als de oppervlakte onder de ziekte-curve van de niet-gesteriliseerde gronden. Hoe hoger de absolute AUDPC, hoe sneller en sterker de planten ziek worden in de niet-steriele grond. Een hoge absolute AUDPC betekent dan ook een slechte bodemweerbaarheid. Daarnaast is de AUDPC ook berekend voor de gesteriliseerde gronden. Wanneer de AUDPC van de niet-gesteriliseerde gronden wordt afgetrokken van de AUDPC van de gesteriliseerde gronden, wordt de relatieve AUDPC verkregen. In een grond waar het bodemleven bijdraagt aan de bodemweerbaarheid, is de relatieve AUDPC een positieve waarde. De planten worden in de steriele grond sneller ziek dan in de niet-steriele. In een grond waar het bodemleven de bodemweerbaarheid verslechterd, is de relatieve AUDPC een negatieve waarde: de planten worden in de gesteriliseerde grond minder snel ziek.

*Tabel 3-1: Beschrijving van de verschillende verwelkingsstadia en kwalitatieve score voor berekening van de Disease Index.*

<b>Score ziekte-index</b>	<b>% Verwelking</b>	<b>Beschrijving</b>
0	0	Geen symptomen
1	1-20%	Eén blad slap en omkrullend, of meerdere bladeren slap, maar nog niet omkrullend
2	20-40%	Meerdere (maar niet alle) bladeren en stengels slap, deels omkrullend
3	40-70%	Alle bladeren en stengels slap, blad omkrullend. Gedeelte van de stengels ligt volledig plat, een gedeelte heeft nog wat turgor
4	70-100%	Alle bladeren slap en omkrullend, blad deels verdrogend, stengels volledig plat op de grond liggend
5	dood	Geen groen meer aanwezig in de stengels en bladsteeltjes, geen lichtgroen meer in het blad, blad donkergroen of bruin verkleurd, plant geheel verschrompeld



Figuur 3.1: Aardbeiplanten met verschillende niveaus van ziekte-ontwikkeling in een biotoets naar bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora cactorum*.

### 3.4 Statistische analyse

De analysegegevens van de bodemweerbaarheid zijn in de vorm van absolute en relatieve AUDPC waarden geanalyseerd met behulp van ANOVA (Genstat Release 13.3 (2008) Lawes Agricultural Trust / Rothamsted Experimental Station). De absolute AUDPC is de AUDPC van de gronden die niet gesteriliseerd zijn, en besmet met *P. cactorum*. De relatieve AUDPC is gelijk aan de absolute AUDPC minus de AUDPC van de gesteriliseerde en besmette gronden. Met behulp van multiple lineaire regressie zijn beste regressie modellen gezocht die de relatie weergeven tussen de ziektegevoeligheid voor *Phytophthora* (de absolute en relatieve AUDPC) en de gemeten biologische en abiotische parameters in de grond. Hiervoor is binnen Genstat de module 'all subsets regression / all possible methods' gebruikt. De biologische parameters zijn voorafgaand aan de data analyse log-getransformeerd ( $\ln(x+1)$ ), met uitzondering van nematoden indexen en verhoudingen. Wanneer de gemeten waarde voor abiotische parameters onder de detectiegrens ligt, is de helft van de waarde van de detectiegrens in de analyse gebruikt. Wanneer meer dan 4 van de 11 gemeten waarden onder de detectiegrens liggen, zijn de data niet meegenomen in de regressieanalyse.





## 4 Resultaten

### 4.1 Bedrijfstypen

De geselecteerde bedrijven omvatten 10 locaties in Noord-Brabant op zandgrond en één bedrijf in Limburg op lössgrond. Binnen de selectie hebben negen telers een gangbare bedrijfsvoering, en twee telers een biologische. De bedrijfsgrootte varieert van 1 tot 100 ha, met aardbei meestal als hoofd- en soms als bijgewas.

**Rotatie** Op een aantal bedrijven wordt al zeer lang (25 tot 55 jaar) aardbei geteeld op dezelfde grond. Met name de biologische bedrijven hebben veel andere tuinbouwgewassen in hun vruchtwisseling, terwijl het bedrijf op lössgrond een rotatie met grassen en granen heeft. Om het wortellesie-aaltje (*Pratylenchus penetrans*) te onderdrukken, maken de meeste telers gebruik van een teeltwisseling met Tagetes of zwarte braak.



*Figuur 4.1: Op dit bedrijf wordt stro onder de aardbeien gebruikt. Gebruik van stro draagt bij aan de organische stofvoorziening van de grond.*

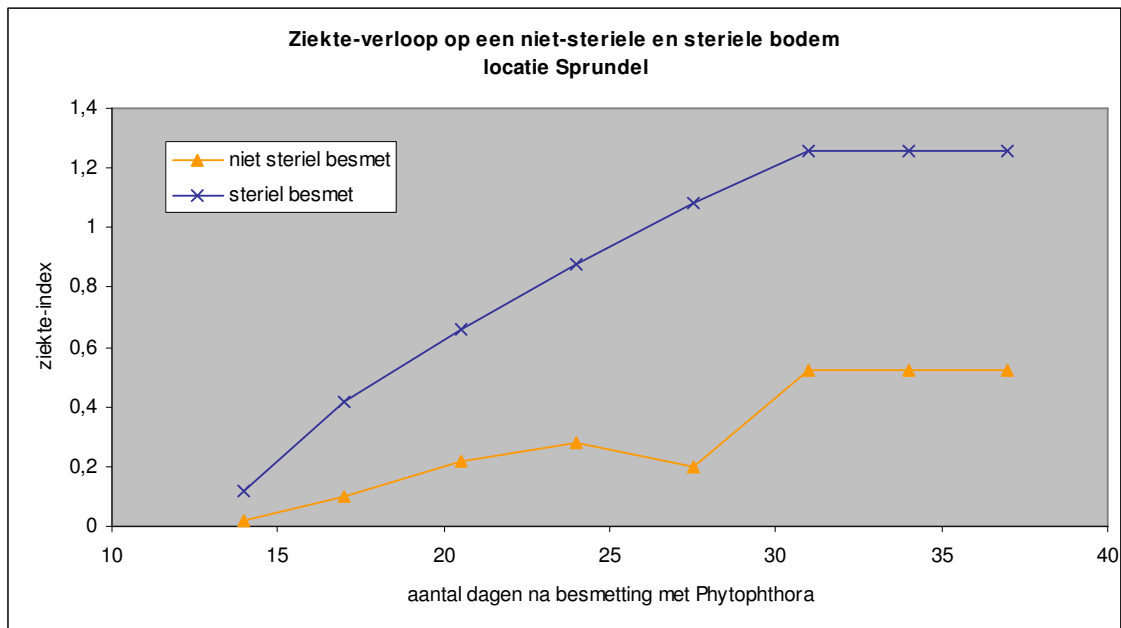
**Bemesting** De telers volgen allemaal hun eigen bemestingsstrategie. Organische bemesting vindt plaats met vaste mest, runderdrijfmest of groencompost. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van stro onder de aardbeiplanten, wordt dit aan het einde van de teelt ondergewerkt. In de gangbare teelt wordt gebruik gemaakt van gecontroleerd vrijkomende meststoffen zoals Agroblen. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van snel oplosbare meststoffen zoals Unika calcium, kalksalpeter en patentkali. Gangbare en biologische telers gebruiken kieseriet voor magnesium bemesting. Biologische telers gebruiken soms ook (plantaardige) organische korrelmeststoffen voor bijbemesting in de teelt.

**Bodemziekten** De problemen met bodemgebonden ziekten variëren op de bedrijven. Naast het wortellesie-aaltje vormt het Noordelijk wortelknobbelaaltje (*Meloïdogyne hapla*) op sommige bedrijven een toenemend probleem. *Phytophthora cactorum* en *Verticillium dahliae* zorgen op veel bedrijven voor problemen. Daarnaast speelt op een aantal bedrijven het ziektecomplex zwartwortelrot, met als belangrijkste veroorzaker *Cylindrocarpon destructans*. Tenslotte wordt ook de bodemschimmel *Pythium* genoemd. Een aantal bedrijven, waaronder de biologische, maakt geen gebruik van chemische grondontsmetting. Op andere bedrijven wordt 1x in de 5 jaar chemische grondontsmetting met Monam toegepast. In de analyse van de gegevens is meegenomen wanneer er op het betreffende perceel voor de laatste keer chemische grondontsmetting is toegepast.

## 4.2 Biotoets

In het algemeen ontwikkelt het ziektebeeld van *Phytophthora cactorum* zich langzaam. Na 13 dagen worden de eerste ziekte-verschijnselen gemeten. De toets is na 39 dagen beëindigd, omdat de curves van het ziekte-verloop op dat moment vrijwel horizontaal lopen, wat betekent dat de ziekte-ontwikkeling tot stilstand komt. In de steriele, besmette grond was de gemiddelde ziekte-score op dat moment 1,55. In de niet-steriele, besmette grond was de gemiddelde ziekte-score op dat moment 0,94. De hoogst gemeten score in de steriele, besmette grond was aan het einde van de toets 5,0 (alle planten dood). In de niet-steriele, besmette grond was aan het einde van de toets de hoogst gemeten score 2,2. Hoewel het *Phytophthora* inoculum effectief was (de besmette gronden hadden significant meer uitval dan de onbesmette gronden), zijn de verschillen tussen de locaties aan het eind van de toets niet groot.

Tussen de bedrijven zijn er geen significante verschillen in bodemweerbaarheid van de 'gewone', niet-gesteriliseerde grond. Wanneer de grond van de bedrijven gesteriliseerd wordt, ontstaan er wel significante verschillen in bodemweerbaarheid tussen de gronden (Figuur 4.3 en Figuur 4.4). Figuur 4.2 laat het ziekte-verloop van de aardbeiplanten op één van de locaties zien, in gesteriliseerde en niet-gesteriliseerde grond. In deze grond verloopt de ziekte sneller in de steriele grond: dit betekent dat het bodemleven bijdraagt aan de bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora*.



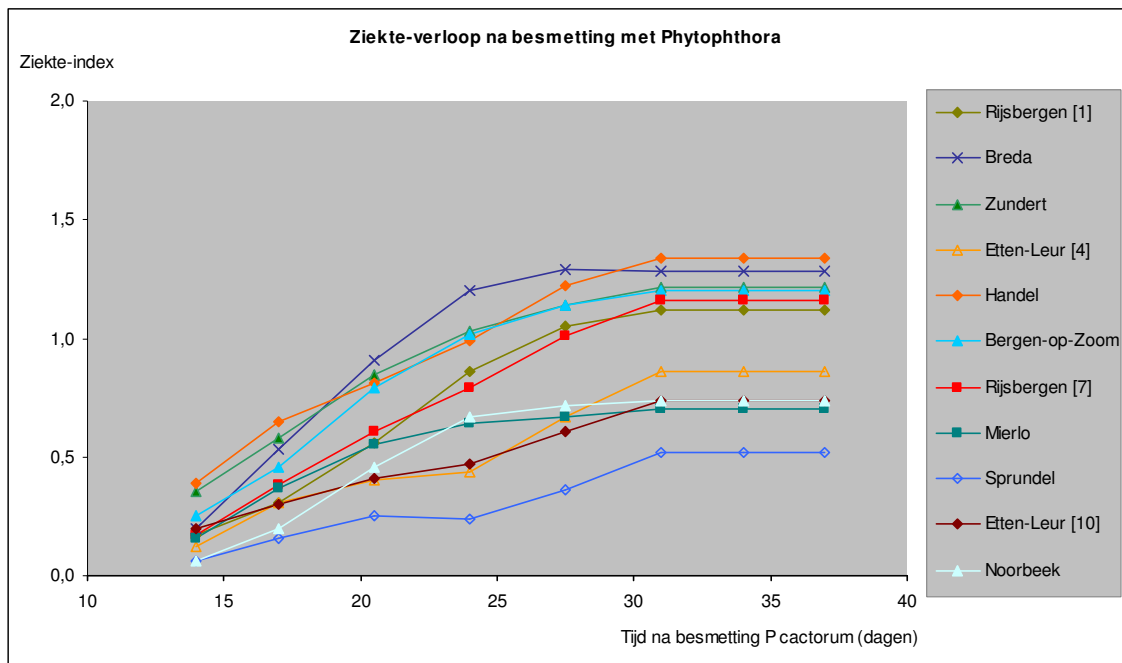
Figuur 4.2: Ziekteverloop in de gesteriliseerde grond en niet-gesteriliseerde grond van één van de locaties.

In Figuur 4.4 wordt de *Area Under Disease Progressive Curve* (AUDPC) weergegeven voor de verschillende bedrijven. De AUDPC geeft de oppervlakte onder de grafiek van het ziekte-verloop weer. Deze oppervlakte is een maat voor zowel de snelheid als de hevigheid waarmee de ziekte zich ontwikkelt. Hoe hoger de AUDPC, hoe sneller en sterker de ziekte-ontwikkeling. Omgekeerd hebben bedrijven met een lagere AUDPC dus een hogere bodemweerstand. Links in de grafiek staan de bedrijven met de laagste AUDPC van de niet-steriele grond, rechts de bedrijven met de hoogste AUDPC. Er zijn grote verschillen tussen de AUDPC waarden van de gesteriliseerde gronden. Bij de meeste gronden is de AUDPC van de gesteriliseerde grond hoger dan van de niet-gesteriliseerde. Dit betekent dat het bodemleven in de gronden er voor zorgt dat de ziekte onderdrukt wordt. In sommige gronden is de AUDPC van de niet-gesteriliseerde grond echter hoger dan van de gesteriliseerde. In dat geval zorgt het bodemleven ervoor dat de ziekte juist versterkt wordt. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer andere bodemziekten, zoals aaltjes, ervoor zorgen dat de pathogene bodemschimmel harder kan toeslaan.

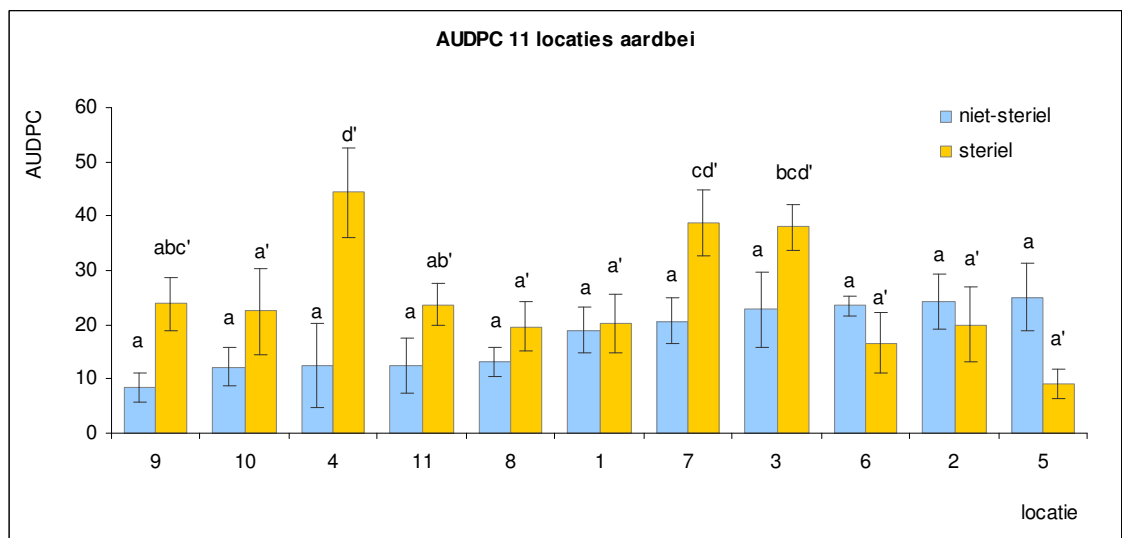
## 4.3 Bodemanalyses

### 4.3.1 Bodemchemische indicatoren

Het bodem organisch stofgehalte varieert tussen de 2,3% (Zundert) en 5,3% (Sprundel). Het bedrijf met het hoogste organische stofgehalte gebruikt dierlijke mest van het eigen bedrijf, en werkt na elke



Figuur 4.3: Verloop van gemiddelde ziektescore van met stengelbasisrot geïnficeerde aardbeiplanten geplant op niet-steriele grond van de 11 locaties.



Figuur 4.4: Ziekte-druk (absolute AUDPC) van aardbeiplanten op niet-steriele en steriele grond besmet met stengelbasisrot. Hoe hoger de absolute AUDPC, hoe sneller en sterker de ziekte zich ontwikkelt. Letters geven significante verschillen tussen de locaties weer, waarbij steriele en niet-steriele gronden los van elkaar vergeleken zijn.

teelt zo'n 7 ton/ha stro in de grond. De laagste C/N verhouding werd gemeten op het bedrijf met lössgrond (C/N 11), terwijl de hoogst gemeten C/N verhouding 18 is. Een hoge C/N verhouding duidt op relatief oude organische stof. Het bedrijf op lössgrond springt er verder uit door de lage pH (4.8) en de lage fosfaatgehalten (P-AL 9). Op dit bedrijf is 14% lutum aanwezig, op de zandbedrijven niet meer dan 2% (Tabel 4-1).

*Tabel 4-1: Chemische bodemparameters op 11 locaties met aardbeienteelt. Waarden met < liggen onder de detectiegrens van de door BLGG toegepaste analysemethoden.*

Bedrijf	Locatie	OS %	C-org %	C-totaal g/100 g	N-totaal mg/kg	C/N	lutum %	P-AL mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	pH	CaCO <sub>3</sub> %
1	Rijsbergen	4,2	2,1	1,9	1120	17	2	69	5,8	<0,1
2	Breda	3,9	1,9	1,9	1200	15,8	<1	101	5,9	0,3
3	Zundert	2,3	1,2	1,1	730	15,1	2	62	5,6	0,1
4	Etten-Leur	4,1	2	1,9	1310	14,5	<1	96	6	0,3
5	Handel	3,6	1,8	1,8	1080	16,7	<1	63	5,3	0,3
6	Bergen-op-Zoom	4,2	2,1	2,2	1660	13,3	<1	121	6,3	0,2
7	Rijsbergen	3,2	1,6	1,6	890	18	<1	125	6,2	0,1
8	Mierlo	3,5	1,7	1,5	1100	13,6	<1	86	5,6	<0,1
9	Sprundel	5,3	2,6	2,8	1890	14,8	2	135	5,6	<0,1
10	Etten-Leur	4	2	2	1470	13,6	<1	111	5,7	<0,1
11	Noorbeek	4,5	2,3	2,3	2090	11	14	9	4,8	<0,1

De analyses van de belangrijkste voedingselementen in de bodem en de zoutconcentratie (EC) laten een aantal verschillen zien (Tabel 4-2). Het nitraatgehalte van de gronden varieert van 0.6 (Mierlo) tot 2.2 (Etten-Leur, bedrijf 4). De kaliumgehalten van de grond zijn in het algemeen niet hoog, en zakt bij het bedrijf op lössgrond onder de detectiegrens. Op de meeste bedrijven zijn de gehalten aan chloor en sulfaat erg laag, net zoals het zoutgehalte (EC). De gehalten aan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> zijn niet weergegeven, omdat deze voor alle bedrijven onder de detectiegrens liggen.



Tabel 4-2: Chemische analyse van hoofdelementen (mmol/liter in 1:2 extract) en EC (mS/cm).

Bedrijf	Locatie	EC	NO3	K	Mg	Ca	Na	Cl	SO4	P
1	Rijsbergen	0,2	1,3	0,3	0,2	0,5	<0,1	<0,2	<0,1	0,1
2	Breda	0,2	1,3	0,5	0,2	0,3	<0,1	<0,2	<0,1	0,05
3	Zundert	0,4	1,7	0,8	0,2	0,5	0,4	0,6	0,2	<0,03
4	Etten-Leur	0,3	2,2	0,7	0,3	0,7	0,1	<0,2	0,2	0,07
5	Handel	0,4	1,4	0,4	0,4	0,7	0,3	0,4	0,5	0,07
6	Bergen-op-Zoom	0,5	2	0,9	0,3	0,8	0,3	0,3	0,5	0,07
7	Rijsbergen	0,3	1,5	0,7	0,2	0,4	0,2	<0,2	0,1	0,11
8	Mierlo	0,1	0,6	0,3	<0,1	0,2	0,2	<0,2	0,1	0,06
9	Sprundel	0,3	1,8	0,6	0,3	0,5	0,2	<0,2	<0,1	0,17
10	Etten-Leur	0,2	1,1	0,4	0,1	0,4	0,1	<0,2	<0,1	0,1
11	Noorbeek	0,3	1,6	<0,1	0,2	0,8	0,2	<0,2	0,1	<0,03

Voor een aantal sporenelementen lopen de gemeten gehalten sterk uiteen op de bedrijven (Tabel 4-3). Voor ijzer ligt het laagste gehalte onder de detectiegrens (<0.5 µmol/l) (Handel) en het hoogste gehalte op 4.8 (Zundert). Voor borium liggen de waarden op 3 locaties onder de detectiegrens (<2.0 µmol/l). De hoogste waarde is 4.1 µmol/l (Bergen-op-Zoom). Voor zink ligt bij veel bedrijven het gehalte onder de detectiegrens (<0.2 µmol/l), het hoogst gemeten gehalte is op lössgrond (1.4 µmol/l). De gehalten molybdeen, koper en mangaan liggen bij alle bedrijven onder de detectiegrens.

Tabel 4-3: Chemische analyse van sporenelementen (in µmol/liter in 1:2 extract, Si in mmol/l).

Bedrijf	Locatie	Fe	Zn	B	Si
1	Rijsbergen	1,5	0,3	3	0,11
2	Breda	2,9	<0,2	3,6	0,13
3	Zundert	4,8	<0,2	3,2	0,08
4	Etten-Leur	0,5	0,2	2,6	0,11
5	Handel	<0,5	0,7	3,6	0,08
6	Bergen-op-Zoom	0,8	<0,2	4,1	0,1
7	Rijsbergen	0,9	<0,2	2,3	0,1
8	Mierlo	4,2	<0,2	<2,0	0,1
9	Sprundel	1,1	0,2	2,1	0,15
10	Etten-Leur	2,1	0,2	<2,0	0,18
11	Noorbeek	2,1	1,4	<2,0	0,1

### 4.3.2 Bodembiologische indicatoren

**Microbiologische parameters** De eerste 3 parameters in Tabel 4-4 geven een indicatie van de microbiologische verschillen tussen de 11 locaties. De laagst gemeten schimmel biomassa is 5,0 (Mierlo). De twee locaties met de hoogste schimmel biomassa zijn bedrijf 7 in Rijsbergen (18,3) en Noorbeek (17,7). Deze locaties hebben een historie als respectievelijk boomkwekerij en hoogstamboomgaard. Dit heeft mogelijk tot een organische stofkwaliteit geleid van relatief moeilijk verteerbare organische stof, die juist voor schimmels aantrekkelijk is. Er is echter een groot verschil in schimmel activiteit tussen de twee locaties. Bij Noorbeek is deze relatief hoog, maar op bedrijf 7 in Rijsbergen is deze gereduceerd tot nul. De bacteriële biomassa ligt voor de meeste bedrijven tussen 20-30 µg C/g droge grond. De laagst gemeten waarde is in Handel (17,5). Noorbeek heeft een bacteriële biomassa van 51,4. Hier speelt het afwijkende bodemtype (lössgrond) een grote rol.

Tabel 4-4: Biomassa schimmels, % actieve schimmels, biomassa bacteriën en HWC (labiele C) van 11 locaties

Bedrijf	Locatie	Schimmel biomassa	Actieve schimmels	Biomassa bacteriën (µg)	HWC (µg C/g)	Respiratie	Regenworm	Regenworm biomassa
		µg C/g droge grond	% hyphen lengte	µg C/g droge grond	µg C/g	mg CO <sub>2</sub> /g droge grond	aantal / m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
1	Rijsbergen	12,4	13,3	27,9	531	100	41,7	15,4
2	Breda	11,0	0,0	25,8	569	137	0,0	0,0
3	Zundert	12,0	2,0	30,4	459	80	0,0	0,0
4	Etten-Leur	11,4	1,1	23,0	553	154	8,3	5,5
5	Handel	12,0	2,6	17,5	684	118	45,8	13,2
6	Bergen-op-Zoom	16,4	6,0	20,6	606	192	89,6	51,2
7	Rijsbergen	18,3	0,0	21,6	717	176	0,0	0,0
8	Mierlo	5,0	0,0	21,6	659	108	25,0	5,4
9	Sprundel	15,5	0,0	26,7	689	159	41,7	33,3
10	Etten-Leur	14,5	6,8	26,8	642	162	97,9	17,3
11	Noorbeek	17,7	15,8	51,4	787	243	33,3	7,4

Hot water extractable Carbon (HWC) is een maat voor de gemakkelijk afbreekbare (labiele) organische koolstof. De gevonden waarden variëren van 459 (Zundert) tot 787 µg C per gram grond (Noorbeek). HWC is gerelateerd aan het organische stofgehalte. De lage waarde in Zundert komt overeen met het relatief lage organische stofgehalte op die locatie, evenals de hoge waarden voor beide parameters op locatie Sprundel en Noorbeek. De respiratie is een maat voor de "bodemademhaling". Gedurende 8 weken wordt gemeten hoeveel CO<sub>2</sub> het bodemleven produceert.

De gevonden waarden variëren van 80 (Handel) tot 243 mg CO<sub>2</sub> per gram droge grond (Noorbeek). De hogere bacteriële biomassa én de hogere schimmel-activiteit/biomassa in Noorbeek dragen waarschijnlijk sterk bij aan de hogere respiratiewaarden in deze grond.

**Nematoden** Alle locaties zijn niet alleen bemonsterd op plant-parasitaire aaltjes, specifiek voor aardbei, maar ook op de zogenaamde “milieu-aaltjes”. Dit zijn alle aaltjes, inclusief de niet-schadelijke, die meestal, maar niet altijd, het grootste deel van de aaltjesgemeenschap vormen. Ze hebben verschillende voedselbronnen, zoals bacteriën, schimmels, algen of andere aaltjes (de carnivore of roof-aaltjes). Op bouwland vormen bacterie-etende aaltjes meestal de grootste groep. Op vrijwel alle locaties is dit ook het geval, met uitzondering van Noorbeek, waar meer planteneters gevonden werden dan bacterie-etende aaltjes ( Tabel 4-5). Soms kunnen nematoden zich rechtstreeks op bijvoorbeeld plant-parasitaire schimmels voeden. Het is zelfs bekend dat een aantal schimmel-etende nematoden een voorkeur heeft voor plant-parasitaire schimmels zoals *Fusarium* boven niet-schadelijke schimmels. Het aantal schimmel-etende aaltjes varieert van nul (Noorbeek, Handel, en beide locaties in Etten-Leur) tot 49 (Mierlo). In de dataset is er echter geen verband tussen het aantal schimmels in de bodem en het aantal schimmel-etende aaltjes.

*Tabel 4-5: Voedselgroepen (trofische groepen) aaltjes (aantallen per 100 g grond) op de 11 locaties.*

Bedrijf	Locatie									
		Totaal nematoden	Schimmel-eters	Bacterie-eters	Dauerlarven	Carnivore nematoden	Algen-eters	Omnivore nematoden	Planteneters	Roof-aaltjes
1	Rijsbergen	1267	25	505	397	83	0	8	248	91
2	Breda	1086	8	768	74	49	0	8	180	57
3	Zundert	661	14	373	7	42	0	7	218	49
4	Etten-Leur	784	0	666	7	69	0	7	35	76
5	Handel	470	0	298	72	0	9	18	72	18
6	Bergen-op-Zoom	1258	41	477	436	33	0	8	263	41
7	Rijsbergen	933	33	542	58	17	0	25	258	42
8	Mierlo	591	49	338	14	0	0	0	190	0
9	Sprundel	1004	8	502	148	25	0	8	313	33
10	Etten-Leur	1045	0	596	236	29	0	7	177	37
11	Noorbeek	1079	0	290	89	22	0	15	662	37

**cp-klassen nematoden** Naast de indeling naar voedselgroep, worden de milieu-aaltjes ook ingedeeld in 5 zogenaamde “colonizer-persister” groepen, de “cp-klassen”. Aaltjes zijn op verschillende manieren aangepast aan hun omgeving en voedselbronnen. Aaltjes soorten die tot dezelfde cp-klasse behoren, reageren op dezelfde manier op verstoringen in hun omgeving, en hebben vergelijkbare overlevingsstrategieën. Omdat de aaltjes in cp-klasse 1 voornamelijk bacterivore aaltjes zijn, met een hoge voortplantingssnelheid, reageren ze sterk en snel op veranderingen in voedselaanbod. Dit kan bijvoorbeeld een reactie zijn op bemesting, grondbewerking of het onderwerken van gewasresten. De aantallen kunnen sterk fluctueren door het jaar heen. Deze groep organismen is daarom lastig vergelijkbaar voor de verschillende locaties. De aantallen aaltjes in cp-klasse 2 verschillen niet heel sterk voor de verschillende locaties. Er is ook geen direct verband zichtbaar met bijvoorbeeld de stress die op het systeem ontstaat door chemische grondontsmetting. Ook in de andere ‘uiterste’ van de cp-klassen, de cp-5 groep, is er geen verband met chemische grondontsmetting. Wel zijn er hier duidelijke verschillen tussen de bedrijven. Het aantal nematoden in cp-5 varieert van 0 (Breda, Mierlo en Sprundel) tot 28 (locatie 4 in Etten-Leur).

### ***cp-klassen nematoden***

Aaltjes soorten worden in 5 verschillende “colonizer-persister” klassen (cp-klassen) ingedeeld. Globaal hebben die groepen de volgende kenmerken:

cp-1: Korte voortplantingstijd, kleine eieren, hoge vruchtbaarheid, voornamelijk bacterie-eters, profiteren van een voedselrijke (verrijkte) omgeving, en vormen zogenaamde Dauerlarven als de bloei van micro-organismen afneemt.

cp-2: Langere voortplantingstijd en lagere vruchtbaarheid dan cp-1, maar heel tolerant naar moeilijke leefomstandigheden. Ze kunnen in een soort schijn-dode toestand (cryptobiose) overgaan, waarin ze heel lang kunnen overleven. Ook als voedselbronnen schaarser worden blijven ze aanwezig. Het zijn vooral bacterie- en schimmel-eters.

cp-3: Langere voortplantingstijd, gevoeliger voor negatieve omstandigheden. Schimmel-eters, bacterie-eters en carnivore aaltjes.

cp-4: Langere voortplantingstijd, lagere vruchtbaarheid, grotere gevoeligheid voor verstoring. Naast andere trofische groepen zijn het vooral de kleinere omnivore soorten.

cp-5: De langste voortplantingstijd, de grootste lichaamsomvang, de laagste vruchtbaarheid, en de grootste gevoeligheid voor verstoring. Voornamelijk carnivore en omnivore soorten (Ferris et al., 2001; Bongers en Bongers, 1998).

Tabel 4-6: Verdeling van aaltjes over colonizer-persister (cp) groep op de 11 locaties.

Bedrijf	Locatie	cp1	cp2	cp3	cp4	cp5
1	Rijsbergen	224	298	0	91	8
2	Breda	180	580	8	65	0
3	Zundert	70	317	0	35	14
4	Etten-Leur	125	541	0	49	28
5	Handel	45	253	9	9	9
6	Bergen-op-Zoom	82	428	8	33	8
7	Rijsbergen	92	475	8	25	17
8	Mierlo	92	246	28	21	0
9	Sprundel	206	305	0	33	0
10	Etten-Leur	118	464	0	44	7
11	Noorbeek	60	231	0	15	22

**Aaltjesgemeenschap als geheel** Omdat de afzonderlijke voedselgroepen aaltjes en cp-classes aaltjes geen goed beeld geven van de aaltjesgemeenschap als geheel, zijn er verschillende soorten indices ontwikkeld, die een beter beeld geven van het soort gemeenschap dat zich op een bepaalde plek bevindt. De bekendste index is de Maturity Index. Deze geeft een maat voor de "rijpheid" van het ecosysteem. Hoe hoger de Maturity Index (de "MI"), hoe "rijper" het ecosysteem, met meer carnivore soorten, en soorten met een lagere voortplantingssnelheid. Hoe lager de Maturity Index, hoe "jonger" het ecosysteem, en hoe meer in de richting van een pioniersysteem. De MI varieert van 1 -na een sterke bemesting- tot 4 -in een ongestoord systeem-. Landbouwsystemen zijn in het algemeen jonge systemen. Bemesting, grondbewerking en gebruik van gewasbeschermingsmiddelen zijn een continue bron van stress voor het bodemleven. Hierdoor overheersen de organismen die zich in een pioniersituatie goed kunnen handhaven. Onder nutriëntrijke omstandigheden overheerst vaak de cp-1 groep. Om die reden worden de organismen uit cp-klasse 1 vaak weggelaten uit de berekening van de Maturity Index: dit leidt tot de MI(2-5). Voor de 11 bedrijven ligt de MI(2-5) tussen de 2,2 en 2,5.

**Voedselweb ontwikkeling** Minder gebruikt zijn de de Verrijking (enrichment) Index, Structuur Index en de Decompositie kanaal (channel) Index. Deze zijn gebaseerd op een combinatie van voedselgroepen en cp-classes, en geven een beeld van de conditie van het voedselweb (Ferris et al., 2001). Een voedselweb is basaal als het gereduceerd is door stress, bijvoorbeeld door voedseltekort, extreme milieu omstandigheden of recente vervuiling. Een voedselweb heeft structuur als de voedselbronnen overvloediger zijn, of wanneer er herstel van stress optreedt. In de loop van de tijd kan de mate van structuur toenemen, als er rijping van het voedselweb optreedt en minder versterking is, en de hogere cp-classes een kans krijgen. De Structuur Index verschuift van basaal (kwadrant D), naar rijpend (kwadrant A), stabiel (kwadrant B) tot structuurrijk (kwadrant C). In

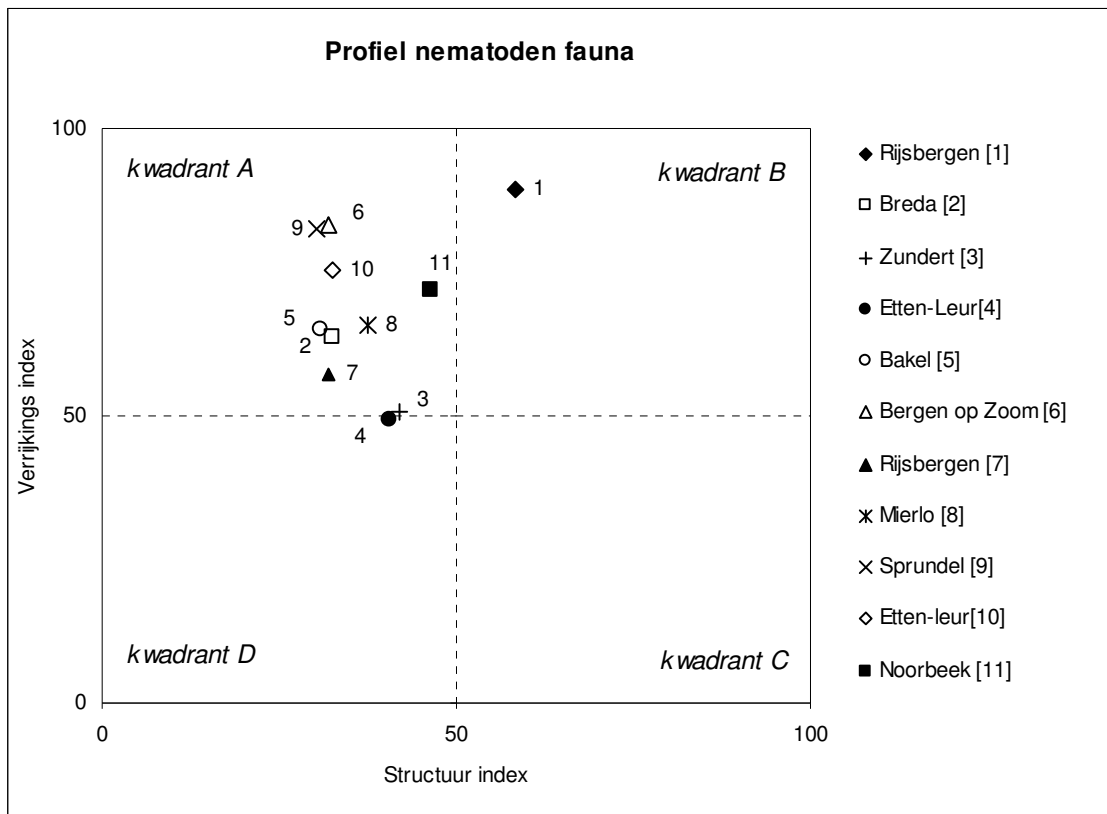


landbouwsystemen zal het voedselweb in kwadrant D, A of B liggen. In ongestoorde natuurgebieden zal het voedselweb in kwadrant C liggen. Een voedselweb is verrijkt, wanneer er verstoring optreedt, en er voedselbronnen beschikbaar komen door afsterven van organismen. Voor de verschillende locaties zijn deze indices te vinden in Tabel 4-7. In Figuur 4.5 staat het fauna profiel per bedrijf.

*Tabel 4-7: Indices voor de samenstelling van de nematoden gemeenschap op de 11 locaties.*

Bedrijf	Locatie	Maturity Index (1-5)	Maturity Index (2-5)	Maturity Index (1d-5)	Plant parasitaire Index	Verrijgings Index	Structuur Index	Decompositie kanaal Index
1	Rijsbergen	1,97	2,52	1,59	2,07	89,4	58,3	1,0
2	Breda	1,95	2,21	1,87	2,00	63,8	32,5	0,8
3	Zundert	2,10	2,31	2,08	2,00	50,5	41,9	4,3
4	Etten-Leur	2,07	2,29	2,06	2,00	49,4	40,5	0,0
5	Handel	2,03	2,19	1,84	2,13	65,0	30,9	0,0
6	Bergen-op-Zoom	2,03	2,21	1,58	2,41	83,2	32,0	1,9
7	Rijsbergen	2,03	2,21	1,94	2,06	57,1	31,9	5,3
8	Mierlo	1,95	2,24	1,91	2,19	65,7	37,5	10,4
9	Sprundel	1,74	2,20	1,58	2,03	82,4	30,2	0,6
10	Etten-Leur	1,99	2,21	1,72	2,08	75,3	32,4	0,0
11	Noorbeek	2,11	2,36	1,88	2,75	72,1	46,3	0,0





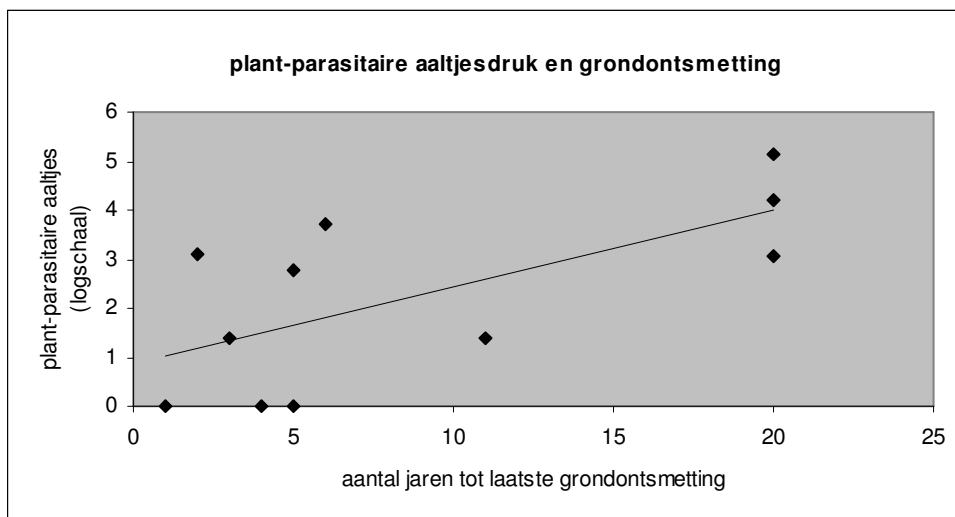
Figuur 4.5: Profiel van de nematoden fauna op 11 locaties.

Met uitzondering van bedrijf 1 in Rijsbergen bevinden alle bedrijven zich in kwadrant A. De bedrijven met een meer verrijkt voedselweb (Bergen op Zoom, Sprundel, bedrijf 1 in Rijsbergen) bevinden zich bovenin, de bedrijven met een minder verrijkt voedselweb (Zundert, bedrijf 4 in Etten-Leur) bevinden zich onderin het kwadrant. Op dezelfde manier bevinden bedrijven met een minder gestructureerd voedselweb (met minder soorten & minder trofische interacties) links in het plaatje en de bedrijven met een gestructureerder voedselweb (meer soorten en meer interacties ertussen) aan de rechterkant.

**Decompositie kanaal** De Decompositie kanaal index (Channel Index) laat grote verschillen tussen de bedrijven zien. Wanneer de Decompositie kanaal index hoger is, nemen schimmels en schimmel-etters een belangrijkere rol in bij de decompositie van organisch materiaal. De locaties Mierlo en bedrijf 7 in Rijsbergen hebben een duidelijk hogere Decompositie kanaal index in vergelijking met de andere locaties. In Rijsbergen is dit mogelijk het gevolg van de historie als boomkwekerij.

**Plant-parasitaire aaltjes** De grondmonsters zijn ook geanalyseerd op plant-parasitaire aaltjes die voor aardbei problematisch zijn (Tabel 4-8). Deze analyse is apart uitgevoerd ten opzichte van de analyse op milieu-aaltjes, waardoor aantallen niet 1:1 met elkaar in overeenstemming hoeven te zijn. De aaltjes-soorten waar in verband met aardbei specifiek naar gekeken is, zijn: *Ditylenchus dipsaci*, *Meloidogyne hapla*, *Pratylenchus penetrans*, *Rotylenchus uniformis*, *Longidorus elongatus* en *Xiphinema diversicaudatum*. *Ditylenchus* en *Longidorus* werden op geen enkel bedrijf aangetroffen.

*Meloidogyne* werd op 4 locaties in een lichte besmetting aangetroffen, en op één locatie (Noorbeek) in zware besmetting. Op 7 locaties werd *Pratylenchus* in de grond aangetroffen, 4 met een lichte besmetting, 2 met een matige, en één bedrijf met een hoge besmetting. *Rotylenchus* komt alleen voor op de 3 bedrijven waar nooit chemische grondontsmetting heeft plaatsgevonden. Het zou kunnen dat deze soort hier bijzonder gevoelig voor is, en in tegenstelling tot *Meloidogyne* of *Pratylenchus*, na chemische grondontsmetting niet of nauwelijks meer terugkeert. *Xiphinema* wordt alleen op het bedrijf op lössgrond aangetroffen. In een regressie-analyse is ook gekeken of er relaties bestaan tussen het aantal jaren geleden dat er voor het laatst chemisch ontsmet is, en de aanwezigheid van het bodemleven. Hierbij is het aantal jaren voor de bedrijven waar nooit ontsmet is op 20 gesteld. In deze analyse kwam alleen een (zwakke) relatie tevoorschijn met het aantal plant-parasitaire aaltjes specifiek voor aardbei (38% verklaarde variantie). Hoe korter geleden ontsmet, hoe lager de aaltjesdruk. De relatie is echter zwak, de punten (Figuur 4.6) liggen relatief ver van de lijn. Het komt ook voor dat bedrijven die nog heel recent ontsmet hebben, een hoge aaltjesdruk hebben.



*Figuur 4.6: Relatie tussen totale hoeveelheid plant-parasitaire aaltjes specifiek voor aardbei en het aantal jaren geleden dat er voor het laatst grondontsmetting is toegepast. Voor locaties waar nooit grondontsmetting is toegepast, is het aantal jaren op 20 gesteld.*

Tabel 4-8: Plantparasitaire aaltjes specifiek voor aardbei (*Ditylenchus dipsaci*, *Meloidogyne hapla*, *Pratylenchus penetrans*, *Rotylenchus uniformis*, *Longidorus elongatus* en *Xiphinema diversicaudatum*) per 100 ml grond op 11 locaties: \* licht besmet; \*\* matig besmet; \*\*\* zwaar besmet.

Bedrijf	Locatie	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	<i>Meloidogyne hapla</i>	<i>Pratylenchus penetrans</i>	<i>Rotylenchus uniformis</i>	<i>Longidorus elongatus</i>	<i>Xiphinema diversicaudatum</i>
1	Rijsbergen	0	1*	20**	0	0	0
2	Breda	0	10*	5*	0	0	0
3	Zundert	0	0	0	0	0	0
4	Etten-Leur	0	0	3*	0	0	0
5	Handel	0	0	0	0	0	0
6	Bergen-op-Zoom	0	0	15*	50*	0	0
7	Rijsbergen	0	0	0	0	0	0
8	Mierlo	0	0	15*	5*	0	0
9	Sprundel	0	3*	0	0	0	0
10	Etten-Leur	0	10*	30**	0	0	0
11	Noorbeek	0	91***	51***	20*	0	10**

**Regenwormen** De grootste bodemorganismen die geanalyseerd zijn, zijn de regenwormen. Omdat de grond in het voorjaar van 2011 erg droog was, zijn de regenwormen in het najaar bemonsterd. Hierbij is zowel naar aantallen als naar biomassa gekeken (zie Tabel 4-4). Aantallen kunnen soms een vertekend beeld geven wanneer er een grote hoeveelheid jonge wormen bemonsterd wordt. De hoogste aantallen (98 wormen/m<sup>2</sup>) werden gevonden op bedrijf 10 in Etten-Leur. De biomassa was hier verhoudingsgewijs echter minder hoog, wat duidt op veel jonge wormen. Op locatie Bergen-op-Zoom waren zowel de aantallen (90 wormen/m<sup>2</sup>) als de biomassa (51 g/m<sup>2</sup>) hoog. Op drie locaties (Breda, Zundert en bedrijf 7 in Rijsbergen) werden geen regenwormen aangetroffen. Voor regenwormen geldt op zandgrond een streefwaarde van ca. 77/m<sup>2</sup>. Op slechts 2 van de 11 bedrijven werd hieraan voldaan.

### 4.3.3 Bodemfysische indicatoren

**Bodemstructuur** De beoordeling van de bodemstructuur van de bouwvoor op de locaties liet een wisselend beeld zien (Tabel 4-9). Als streefwaarde voor een gunstige situatie voor bodemleven en beworteling geldt een percentage kruimels van minimaal 25% en een percentage scherpblokkige structuren van maximaal 25% in de bouwvoor. Alleen op de twee bedrijven met een biologische bedrijfsvoering, op locaties Bergen-op-Zoom en Mierlo is dit het geval. Op de overige gronden was vooral het percentage scherpblokkige structurelementen relatief hoog. Kanttekening bij de beoordeling van de structurelementen is dat deze erg afhankelijk is van het moment van beoordelen. Op sommige percelen was net een gekoelde teelt geplant, op andere percelen stonden doordragers, was het perceel ingezaaid met Tagetes of lag het perceel braak.



*Figuur 4.7: Beoordeling van fysische bodemstructuur in het veld maakt ook bodemlevenactiviteit zichtbaar. Door verdichting ontstaan anaerobe omstandigheden en zorgen bacteriën voor blauwverkleuring.*

**Indringingsweerstand** De indringingsweerstand was op alle bedrijven gunstig tot ca. 30 cm diepte. Locatie Mierlo had een hoge weerstand vanaf de toplaag. Vanaf 40 cm ligt de weerstand op de meeste bedrijven boven de 2,5 MPa. In de tabel is het oppervlak onder de curve van de indringingsweerstand weergegeven.

Tabel 4-9: Percentage kruimelige, afgerondblokkige en scherpblokkige structuurelementen in 0-20 cm en de oppervlakte onder de grafiek die het verloop van de indringingsweerstand van 0-50 cm weergeeft op de 11 locaties.

Bedrijf	Locatie	% Kruim	% Afgerond-blokkig	% Scherp-blokkig	Oppervlak onder curve indringingsweerstand
1	Rijsbergen	20	10	70	520
2	Breda	13	28	60	2360
3	Zundert	10	5	85	3110
4	Etten-Leur	25	20	55	2110
5	Handel	20	40	40	1235
6	Bergen-op-Zoom	50	25	25	4330
7	Rijsbergen	15	70	20	6692
8	Mierlo	25	60	15	5950
9	Sprundel	0	10	90	11900
10	Etten-Leur	17	32	52	3096
11	Noorbeek	13	13	75	5250

## 4.4 Relatie bodemparameters en weerbaarheid

Voor het aantonen van verbanden tussen fysisch-chemische (abiotische) en/of biologische parameters en de mate van bodemweerbaarheid is met behulp van Genstat 13.3 een multilineaire regressie analyse uitgevoerd. Daarbij is gekeken naar zowel de absolute AUDPC als naar de relatieve AUDPC (Sánchez-Moreno en Ferris, 2007). De absolute AUDPC is de AUDPC van de niet-steriele, besmette gronden. Om de relatieve AUDPC te berekenen, wordt van de AUDPC van de steriele grond, de AUDPC van de niet-steriele grond afgetrokken. Bij bedrijven waar het bodemleven de ziekteverendheid bevordert, wordt de relatieve AUDPC een positief getal. Bij bedrijven waar het bodemleven de ziekteverendheid verzwakt, wordt de relatieve AUDPC een negatief getal.

### 4.4.1 Relatie bodemparameters en absolute bodemweerbaarheid

Uit de relatie van bodemparameters en de 'absolute' bodemweerbaarheid (uitgedrukt in de absolute AUDPC) komt een bijzonder sterk verband naar voren. Het blijkt dat 60.9% van de variantie verklaard kan worden uit slechts één bodemparameter: het gehalte aan borium in de grond. Gezien het aantal bedrijven waar de analyse mee is uitgevoerd, kan in de multiple regressie ook gekeken worden naar twee parameters, die samen de variantie in bodemweerbaarheid bepalen. Het blijkt dan, dat naast borium twee andere bodemparameters een verband laten zien met een weerbare bodem: het organische stofgehalte (of daarmee sterk gecorreleerd: het gehalte aan C-organisch of

C-totaal) en het gehalte aan nitraat in het bodemvocht. Deze overige factoren zijn echter alleen in samenhang met borium een goede verklaring voor de bodemweerbaarheid. Samen met borium kunnen deze factoren 73-78% van de variantie in absolute bodemweerbaarheid bepalen (zie Tabel 4-10). Voor de 11 bedrijven die we onderzocht hebben zijn de relaties als volgt:

### **Relaties bodemweerbaarheid & chemische parameters**

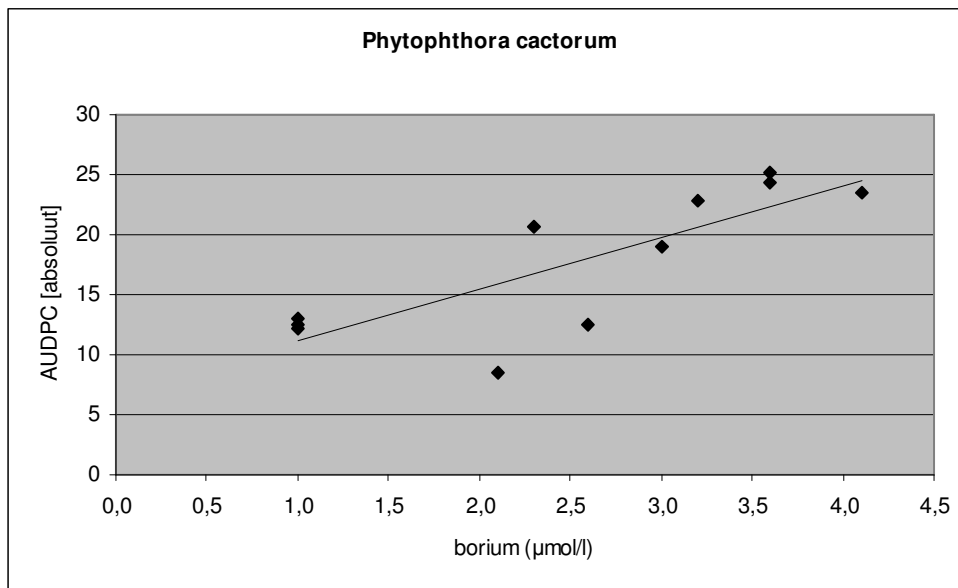
- Hoe hoger het borium gehalte in de grond, hoe slechter de bodemweerbaarheid;
- Hoe hoger het organische stofgehalte van de grond, hoe beter de bodemweerbaarheid;
- Hoe hoger het nitraat gehalte van de grond, hoe beter de bodemweerbaarheid.

*Tabel 4-10: Beste regressie modellen voor de 'absolute' AUDPC voor 11 verschillende gronden besmet met *Phytophthora cactorum*. Hoe hoger de AUDPC, hoe slechter de bodemweerbaarheid. \*= $P<0.05$ , \*\* =  $P<0.01$ , \*\*\* =  $P<0.001$ .*

	<b>Regressie model</b>	<b>% verklaarde variantie</b>
absolute AUDPC	$6.92^* + 4,29 \times [\text{borium}]^{**}$	60.9
absolute AUDPC	$21.15^{**} + 3.845 \times [\text{borium}]^{***} - 3.37 \times [\text{organische stof}]^*$	78.3
absolute AUDPC	$21.13^{**} + 3.841 \times [\text{borium}]^{**} - 6.76 \times [\text{c-organisch}]^*$	76.8
absolute AUDPC	$17.76^{**} + 4.020 \times [\text{borium}]^{***} - 5.32 \times [\text{c-totaal}]^{**}$	75.1
absolute AUDPC	$12.90 + 5.298 \times [\text{borium}]^{***} - 5.66 \times [\text{nitraat}]^*$	73.2

**Borium** De boriumgehaltenes op de verschillende bedrijven variëren van <math>2.0 \mu\text{mol/liter}</math> tot





Figuur 4.8: Relatie tussen de 'absolute' AUDPC (Area Under Disease Progressive Curve) bij *Phytophthora* besmetting van gronden en het gehalte aan borium in de grond.

**Organische stof** Een hoger organisch stofgehalte van de grond (en daarmee zeer sterk gecorreleerd het gehalte aan C-organisch en C-totaal) komt (in combinatie met een laag gehalte aan borium) overeen met een grotere mate van bodemweerbaarheid. Door deze twee factoren samen kan 78% van de variantie in bodemweerbaarheid verklaard worden. *Phytophthora* behoort samen met bijvoorbeeld *Pythium* niet tot de 'echte' schimmels, maar tot de oömyceten. Het zijn zwakte parasieten, die niet goed kunnen concurreren met andere micro-organismen in de bodem. Als de bodem een hoger organisch stofgehalte heeft, is de algehele micro-biologische activiteit hoger, en krijgen zwakte parasieten zoals *Phytophthora* minder kans. Alle 'plekken' in het ecosysteem zijn al bezet, en ze kunnen zich niet handhaven in het systeem. Zorg voor een voldoende hoog organisch stofgehalte van de bodem kan de weerbaarheid van het systeem dus verhogen.

**Nitraat** Voor deze set bedrijven vinden we dat een hoger gehalte aan nitraat in de bodem overeenkomt (in combinatie met een laag gehalte aan borium) met een grotere mate van bodemweerbaarheid. Samen met borium kan nitraat 73% van de variantie in bodemweerbaarheid verklaren. Het is bekend dat de aanwezigheid van nitraat of ammonium de bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora* kan beïnvloeden. De relaties kunnen echter per *Phytophthora* soort verschillen. Gronden met een grotere bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora cinnamomi* in avocado, hadden hogere gehalten aan nitraat en ammonium, naast een hoger organisch stofgehalte en hoge niveaus van calcium en magnesium (Broadbent en Baker, 1974). Bemesting met ammonium stikstof versterkt de uitval door citrus wortelrot (*Phytophthora citrophthora* en *P. parasitica*), terwijl nitraat stikstof de uitval minder groot maakt (Klotz et al., 1958). Op laboratorium schaal laat onderzoek naar de groeiomstandigheden van *Phytophthora* op substraat zien dat een kweek van *Phytophthora cactorum* wel goed groeit op ammonium-zouten, maar niet op nitraat-zouten (Lopatecki en Newton, 1956). Voor andere *Phytophthora* soorten ligt deze relatie juist omgekeerd.

#### 4.4.2 Relatie bodemparameters en relatieve bodemweerbaarheid

De relatieve AUDPC wordt berekend uit twee waarden: de AUDPC van de gesteriliseerde grond, minus de AUDPC van de niet-gesteriliseerde grond. Dit betekent dat gronden waarbij met sterilisatie meer ziekte optreedt dan zonder sterilisatie, een hogere relatieve AUDPC hebben. In deze gronden draagt het bodemleven dus bij aan de bodemweerbaarheid. In gronden die na sterilisatie minder ziekte vertonen, versterkt het bodemleven juist de ziektegevoeligheid voor *Phytophthora*. In theorie zou dit bijvoorbeeld kunnen komen door de aanwezigheid van plant-pathogene aaltjes. Anders gezegd: het bodemleven verzwakt in dit geval de bodemweerbaarheid. Deze gronden hebben een lage, of zelfs negatieve, relatieve AUDPC.

De verbanden die we vinden tussen bodemparameters en de 'relatieve' AUDPC zijn minder sterk dan de relaties met de 'absolute' AUDPC. In tegenstelling tot bij de absolute bodemweerbaarheid, waar de relaties met chemische eigenschappen van de bodem het duidelijkst zijn, zijn de relaties bij de relatieve bodemweerbaarheid allemaal biologisch van aard. De hoeveelheid ongekleurde schimmels kan als enkele parameter 26,6% van de variantie in weerbaarheid verklaren, maar de relatie is net niet significant ( $P = 0,060$ ). Wanneer we met meer parameters tegelijk de weerbaarheid proberen te verklaren, komt de relatie met de ongekleurde schimmels opnieuw terug. Samen met de Maturity Index (1d-5) verklaren deze twee parameters 48,2% van de variantie in bodemweerbaarheid. In het beste regressie-model dat die hierop volgt, vinden we een relatie met het aantal dauerlarven en het aantal nematoden in cp-klasse 3.

Tabel 4-11: Beste regressie modellen voor de 'relatieve' AUDPC voor 11 verschillende gronden besmet met *Phytophthora cactorum*. Hoe hoger de relatieve AUDPC, hoe slechter de bodemweerbaarheid. \*= $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0.01$ , <sup>ab</sup>:  $P = 0,060$ , <sup>b</sup>:  $P = 0,061$ , <sup>ns</sup> = niet significant. Biologische parameters waar <sup>LN</sup> achter staat, zijn log-getransformeerde waarden.

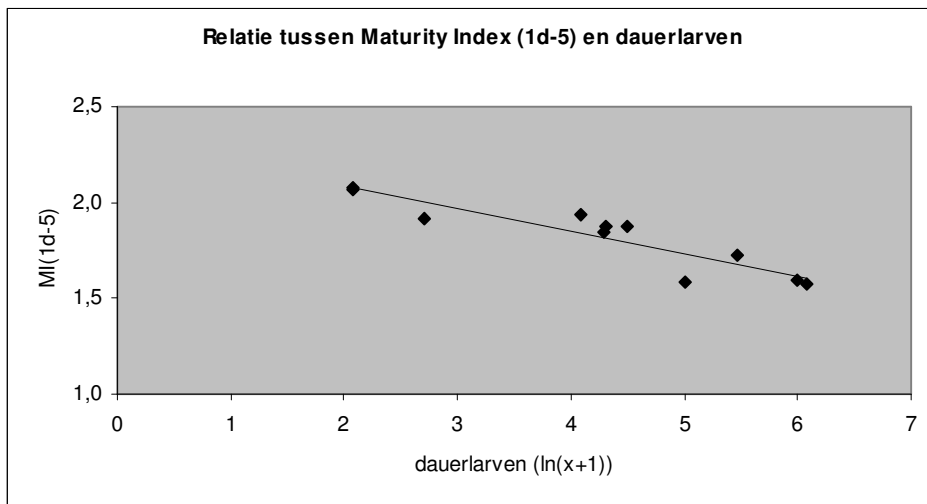
	Regressie model	% verklaarde variantie
relatieve AUDPC	$-21.0^{ns} + 0,510^{*a} \times [\text{ongekl. schimmels}]$	26,6%
relatieve AUDPC	$-89.6^* + 0,543^* \times [\text{ongekl. schimmels}] + 36.6^{*b} \times [MI(1d-5)]$	48,2%
relatieve AUDPC	$35,6^{**} - 5,52^* \times [\text{nematoden cp3}^{LN}] - 5,17^* \times [\text{dauerlarvae}^{LN}]$	46,1%
relatieve AUDPC	$-11.0^{ns} + 9,88^* \times [\text{celdeling frequentie}] - 68.9^* \times [\text{schimmel / bacterie verhouding}]$	42,9%

**Ongekleurde schimmels & fungistase** In de beste regressiemodellen van de relatieve bodemweerbaarheid tegen *Phytophthora cactorum* en bodemparameters, zien we dat de ongekleurde schimmels (*unstained fungi*) een bescheiden gedeelte van de variantie kunnen verklaren. De ongekleurde schimmels, vormen het percentage van de schimmeldraden dat geel of bruingekleurd is, en geen kleurstof opneemt. De kleurstof laat zien dat de schimmeldraden metabolisch actief zijn. We vinden bij de 11 gronden dat hoe groter het percentage ongekleurde (dus inactieve) schimmels, hoe hoger de relatieve AUDPC, en dus hoe sterker het vermogen van het bodemleven om bij te dragen aan de bodemweerbaarheid. Schimmels worden inactief op het moment dat de milieu-omstandigheden slechter worden, bijvoorbeeld door droogte, of wanneer er

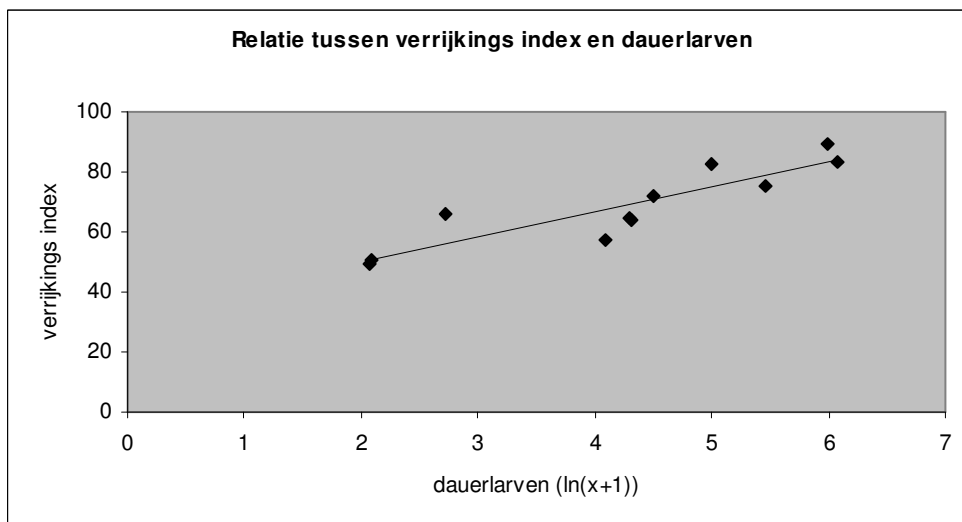
een voedseltekort optreedt. Er kan ook een combinatie van factoren spelen: de omzettingsprocessen in de bodem kunnen door de droogte geremd worden, en nutriënten kunnen slechter beschikbaar zijn.

Wanneer in de grond de schimmelgroei beperkt wordt door milieu-omstandigheden, wordt dit fungistase genoemd. Fungistase is een bekend biologisch mechanisme dat zorgt voor bodemweerbaarheid. Omdat schimmels zoals *Phytophthora cactorum* slechte concurrenten zijn, kunnen ze moeilijker bij voedselbronnen en nutriënten komen, op het moment dat deze schaars zijn. Ook droogte op zich zou ervoor kunnen zorgen dat *Phytophthora* slechter bij de voedingsstoffen kan komen. Welke factor precies de fungistase veroorzaakt, is niet direct afleidbaar uit de dataset. Uit de literatuur is bekend dat er vaak specifieke sporenelementen zijn, die ervoor zorgen dat er in een grond fungistase optreedt. Vaak hoeft dit nog niet meteen te betekenen dat ook de plant een tekort aan dit element heeft.

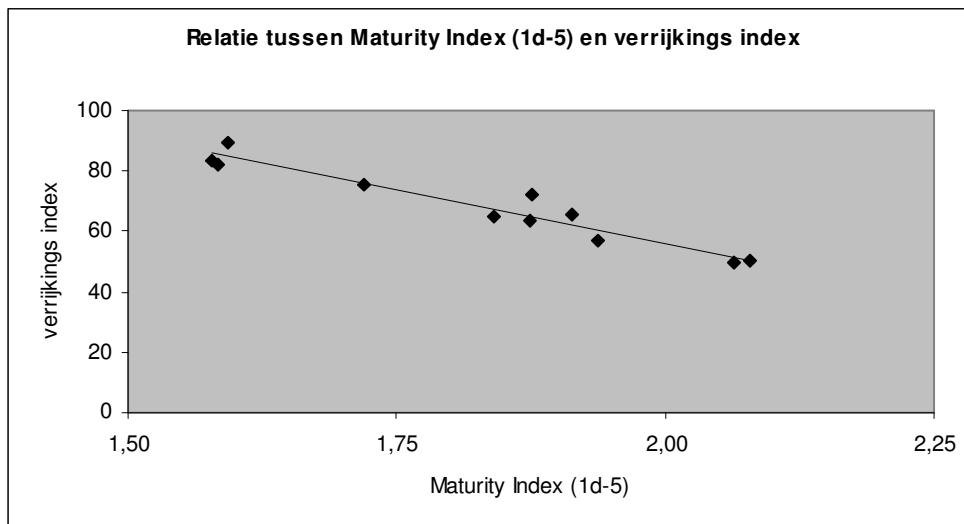
**Maturity Index (1d-5) en dauerlarven** De Maturity Index (1d-5) geeft de samenstelling van de nematodengemeenschap weer, waarbij de dauerlarven meegenomen worden in de berekening van het aantal nematoden dat zich in cp-klasse 1 bevindt. De nematoden in cp-klasse 1, zijn voornamelijk bacterivore nematoden uit de *Rhabditidae* familie, die in een inactief stadium kunnen overgaan op het moment dat er voedselschaarste of droogte optreedt. Dit is één van de redenen waarom deze groep nematoden heel snel kan reageren op een veranderend voedselaanbod. Uit de dataset blijkt een zeer sterke correlatie tussen de Maturity Index (1d-5) en de hoeveelheid dauerlarven ( $R^2 = 0,81$ ) (zie Figuur 4.9). Uit de regressie analyse blijkt dat hoe hoger het aantal dauerlarven, of hoe kleiner de MI(1d-5), hoe slechter de relatieve bodemweerbaarheid van de grond. Mogelijk gaat het hier om een ander principe als hierboven beschreven bij de schimmelactiviteit. Door voedseltekort of droogte zijn de bacterivore schimmels in een inactief stadium overgegaan. Juist de voedselrijke gronden bevatten veel bacterivore nematoden. Op het moment dat die gronden droog worden, verschijnen er veel dauerlarven in de grond. In principe kan hier dus ook weer gelden dat hoe hoger de voedselrijkdom van de grond, hoe slechter de bodemweerbaarheid. Er is in potentie zoveel voedsel aanwezig, dat er weinig concurrentie om de voedselbronnen is. Hierdoor krijgen pathogene zwakteschimmels meer kans. De relatie tussen dauerlarven en/of MI(1d-5) en voedselrijkdom wordt ook duidelijk in de zeer sterke correlatie die er bestaat tussen dauerlarven en de verrijkings index (enrichment index) (zie Figuur 4.10) en tussen de MI(1d-5) en de verrijkings index (zie Figuur 4.11).



Figuur 4.9: Zeer sterke correlatie tussen de Maturity Index (1d-5) en het aantal dauerlarven (log-getransformeerde waarde) in de 11 gronden van aardbeibedrijven ( $P < 0,001$  en  $R^2 = 0,81$ ).



Figuur 4.10: Zeer sterke correlatie tussen verrijgingsindex en het aantal dauerlarven (log getransformeerde waarde)  $P < 0,001$  en  $R^2 = 0,78$ .



Figuur 4.11: Zeer sterke correlatie tussen de Maturity Index (1d-5) en de verrijgingsindex:  $P < 0,001$  en  $R^2 = 0,92$ .

**Nematoden in cp-klasse 3** De nematoden in cp-klasse 3 worden gevormd door nematoden soorten met een relatief langere voortplantingssnelheid en een grotere gevoeligheid voor slechte milieu-omstandigheden. De groep kan zowel schimmeleters, bacterie-eters als carnivore soorten bevatten. In de praktijk van deze 11 bedrijven zijn de nematoden die tot cp-klasse 3 behoren alleen bacterie-eters die behoren tot de genera *Prismatolaimus* (Mierlo), *Bastiana* (Breda, Bergen-op-Zoom en bedrijf 7 in Rijsbergen) en tot de *Chromadoridae* (Handel). Ze vormen maar een klein gedeelte van de totale hoeveelheid bacterie-eters op de bedrijven. Veruit de meeste bacterie-eters bevinden zich in cp-klasse 2 (gemiddeld 360) en in cp-klasse 1 (gemiddeld 257), in tegenstelling tot cp-klasse 3 (gemiddeld 6 nematoden per 100 gram grond). In relatie tot de relatieve bodemweerbaarheid vinden we dat een lager aantal nematoden in cp-klasse 3 gerelateerd is aan een betere relatieve bodemweerbaarheid. De nematoden in cp-klasse 3 zijn gevoeliger voor verstoringen dan de nematoden in cp-klasse 2. De relatie met bodemweerbaarheid ligt wellicht op het niveau van deze verstoringen, maar het mechanisme erachter is niet uit de dataset af te leiden. Bovendien zou dan ook een (synchroon lopend) effect op de hogere cp-klassen (4 en 5) te verwachten zijn, en dat vinden we niet.

**Frequentie van celdeling** De frequentie van celdeling (frequency of dividing cells) is een maat voor de activiteit van de bacteriën in de bodem. Hoe hoger de frequentie, hoe beter de relatieve bodemweerbaarheid. Deze indicator laat een rechtstreekse relatie zien met de activiteit van de microflora, in het bijzonder de bacterie-activiteit. Om weerbaar te zijn tegen bodemziekten, is het dus van belang dat de microflora ook voldoende actief is.

**Schimmel/bacterie verhouding** In de biotoets vinden we een relatie tussen bodemweerbaarheid en de schimmel/bacterie verhouding in de grond. Hieruit blijkt dat de gronden met een lagere schimmel/bacterie verhouding een betere bodemweerbaarheid hebben tegen *Phytophthora*. Blijkbaar dragen in deze gronden de bacteriën in belangrijke mate bij aan de bodemweerbaarheid. Dit sluit aan bij de relatie met de frequentie van celdeling van de bacteriën, zoals die hierboven benoemd is.

### **Relaties bodemweerbaarheid & biologische parameters**

- Hoe groter het *inactieve* percentage van de schimmeldraden in de grond, hoe beter de bodemweerbaarheid. Dit kan duiden op *fungistase*: de groei van schimmels in de bodem wordt geremd door tekort aan voor deze schimmels belangrijke voedingsstoffen of door milieu-omstandigheden zoals droogte. Een pathogene schimmel kan zich in zo'n omgeving moeilijk ontwikkelen;
- Hoe meer dauerlarven zich in de grond bevinden, of hoe lager de Maturity Index (1d-5), hoe slechter de bodemweerbaarheid. De dauerlarven zijn de inactieve vorm van bacterie-etende aaltjes. Door droogte of voedseltekort worden de dauerlarven inactief. Er is een zeer sterke relatie tussen de dauerlarven en de verrijgings-index van de gronden. Gronden met veel dauerlarven zijn juist erg rijk aan voedingsstoffen. Een grond met minder dauerlarven en minder verrijking, is juist weerbaarder tegen pathogene schimmels zoals Phytophthora;
- Hoe minder nematoden in cp-klasse 3, hoe beter de bodemweerbaarheid. De nematoden in cp-klasse 3 zijn gevoeliger voor verstoring dan de nematoden in de lagere cp-klassen. Mogelijk is het aantal nematoden in cp-klasse 3 een afspiegeling van de droogte-stress in de grond. In drogere gronden kunnen pathogene schimmels zoals Phytophthora zich moeilijker handhaven.
- Hoe hoger de frequentie van celdeling van de bacteriën, dus hoe actiever de bacteriën in de bodem zijn, hoe beter de bodemweerbaarheid.
- Hoe lager de schimmel/bacterie verhouding in de grond, hoe beter de bodemweerbaarheid. Blijkbaar dragen de bacteriën in deze gronden voor een groot gedeelte bij aan de bodemweerbaarheid.





## 5 Discussie

In de relatie tussen bodemfactoren en bodemweerbaarheid komen een aantal opvallende resultaten naar voren. Hieronder wordt op een aantal van deze zaken kort ingegaan.

**Chemie versus biologie** De relaties die gevonden worden voor chemische bodemparameters zijn veel sterk dan voor de biologische parameters. Dit houdt wellicht verband met het feit dat de variatie 'in het veld' in biologische parameters veel groter is dan de variatie in chemische of fysische parameters. Levende organismen reageren snel op milieu-omstandigheden, waardoor de variatie zowel in plaats als in tijd aanzienlijk kan zijn. De biotoets is met een relatief kleine dataset uitgevoerd, maar desondanks komen er sterke relaties uit. Chemische parameters kunnen een rechtstreeks effect op de plant hebben. Door nutriëntentekorten of door toxische effecten kan de plant gevoeliger worden voor bodemziekten. Ze kunnen in geval van nutriëntentekorten of toxiciteit ook rechtstreeks op de pathogeen of op de antagonisten effect hebben. In geval van borium lijkt het in eerste instantie om een direct effect op de gevoeligheid van de plant te gaan. In geval van nitraat kan het om een combinatie gaan: voldoende nitraat maakt de plant sterker, en heeft op *Phytophthora cactorum* juist een negatief effect. Organische stof is weliswaar een chemische parameter, maar is een indicator voor de activiteit van het bodemleven.

**Fungistase** De biologische indicatoren voor bodemweerbaarheid die we vinden, lijken duidelijk gerelateerd te zijn aan 'algemene' bodemweerbaarheid. Het gaat niet om specifieke predator-proof relaties: bijvoorbeeld antagonisten die parasiteren op *Phytophthora*. De relaties die naar voren komen zijn vooral gebaseerd op 'algemene' concurrentie om voedingsstoffen. De relatie tussen bodemweerbaarheid en de ongekleurde, inactieve schimmels houdt mogelijk verband met het verschijnsel *fungistase*: remming van de schimmelgroei door een beperkte beschikbaarheid van nutriënten. De inactiviteit van de schimmels zou echter ook (alleen) door droogte veroorzaakt kunnen zijn. Om te weten te komen wat het mechanisme is achter fungistase, wordt vaak een combinatie gebruikt van het meten van de bodemademhaling in de 'normale' veldtoestand, en het meten van de bodemademhaling na toevoeging van suikers of ijzer. Als de bodemademhaling stijgt na toevoeging van suikers, zijn de koolstofbronnen de 'beperkende factor' voor schimmelgroei. Als de bodemademhaling stijgt na toevoeging van ijzerverbindingen, is concurrentie om ijzer de oorzaak van de fungistase. Deze tests zouden een bevestiging kunnen vormen dat het percentage ongekleurde, inactieve schimmels een maat is voor fungistase, en niet (alleen) voor droogte. Bovendien hebben de gronden en aardbeien tijdens de biotoets voldoende water gekregen, waardoor dit bij het testen van de bodemweerbaarheid geen belangrijke factor is geweest.

**Dauerlarven** De dauerlarven vormen de inactieve vorm van de bacterie-etende nematoden uit klasse 1. Ze kunnen inactief worden door droogte of door een tekort aan voedsel. Hoewel het aantal dauerlarven zeer sterk gecorreleerd is met de Verrijgings Index (Enrichment Index), volgt hieruit nog niet direct dat de oorzaak van een betere bodemweerbaarheid ligt in een minder verrijkte omgeving. De gronden met minder dauerlarven, zouden ook vochtiger kunnen zijn. In dat geval zouden ze echter een betere voedingsbodem voor *Phytophthora* vormen. Het ligt daarom meer voor de hand

dat we de relatie met bodemweerbaarheid in de richting van een minder verrijkte omgeving moeten zoeken. Ook hier geldt dat tijdens het testen van de bodemweerbaarheid, de gronden voldoende vochtig zijn gehouden. De droogte tijdens het bemonsteren *an sich*, is dus waarschijnlijk niet direct van invloed geweest op de weerbaarheid.

**Bemesting** In de dataset hebben we geen duidelijke effecten van management op bodemweerbaarheid gevonden. Een aantal factoren, zoals de bemesting in het voorafgaande jaar, zijn waarschijnlijk ook te zeer korte termijn factoren om een direct effect op bodemweerbaarheid te laten zien. Het effect op de lange termijn van organische bemesting, namelijk een hoog organisch stofgehalte en een hoge activiteit van het bodemleven zoals dat tot uiting komt in de frequentie van celdelingen van de bacteriën, is wel zichtbaar.

**Grondontsmetting** Een andere factor die in de analyses is meegenomen, is het aantal jaren geleden dat de grond voor het laatst chemisch ontsmet is. Hierbij is voor bedrijven die geen grondontsmetting toepassen, deze tijdsduur (arbitrair) op 20 jaar gesteld. Hoewel de verwachting is dat grondontsmetting een direct negatief effect op de bodemweerbaarheid heeft, hebben we geen relatie gevonden met de tijdsduur tot de laatste grondontsmetting. Omdat we in de biotoets echter ook alle gronden gesteriliseerd hebben, is wel duidelijk zichtbaar dat sterilisatie in de meeste gevallen tot een verslechtering van de bodemweerbaarheid op de korte termijn (de eerste maanden na grondontsmetting) leidt. Wellicht is het echter zo, dat op iets langere termijn de algemene bodemweerbaarheid, waar bij een biotoets met *Phytophthora* vooral de nadruk op ligt, zich redelijk snel kan herstellen. Hierbij zijn factoren als organische stofvoorziening van de grond, en de activiteit van de bacteriën, belangrijker. Voor specifieke bodemweerbaarheid, zoals in geval van *Verticillium*, waar bodemweerbaarheid ook gebaseerd is op de aanwezigheid van antagonisten of predatoren van de pathogene organismen, ligt de relatie met grondontsmetting mogelijk anders. Deze specifieke bestrijders herstellen zich mogelijk lastiger na grote verstoringen in hun omgeving.

## 6 Conclusies

Het doel van het project 'Aardbei op weerbare bodem' was om meer zicht te krijgen op de mechanismen achter het ontstaan van bodemweerbaarheid, de bodemeigenschappen die hierbij een rol spelen, en de mogelijkheden die de tuinder heeft om te sturen in de richting van een weerbaarder systeem. De focus ligt op bedrijven met aardbeienteelt, omdat deze relatief intensieve teelt gevoelig is voor een aantal verschillende bodempathogenen.

Tussen de 11 bedrijven is een gradueel verschil in bodemweerbaarheid tegen stengelbasisrot: *Phytophthora cactorum*. Wanneer we de grond steriliseren, zien we wel significante verschillen tussen de bedrijven ontstaan. Bij de meeste bedrijven is de grond na sterilisatie gevoeliger geworden voor ziekten. Dit betekent dat het aanwezige bodemleven de bodemweerbaarheid ondersteunt. Op enkele bedrijven is de grond na sterilisatie minder gevoelig geworden voor ziekten. Deze gronden zijn ziekte-stimulerend. De biologie van de gronden draagt in deze gronden niet bij aan het ontstaan van een betere weerbaarheid. Dit kan komen doordat er bodempathogenen in de grond aanwezig zijn, die in de biotoets het effect van stengelbasisrot nog verder versterken.

Op de 11 bedrijven vinden we een sterk verband tussen de bodemweerbaarheid en het gehalte aan borium in de grond. Daarnaast zijn in combinatie met borium, organische stof en nitraat twee belangrijke factoren in bodemweerbaarheid. Hogere gehalten aan borium verlagen de bodemweerbaarheid. Een hoger organische stofgehalte versterkt de bodemweerbaarheid, evenals een hoger gehalte aan nitraat in de grond. Het is bekend dat borium in te hoge gehalten toxisch is voor aardbei. Ook bij minder hoge gehalten maakt het de planten blijkbaar gevoeliger voor *Phytophthora*. Nitraat heeft een positief effect op de gewasgroei, terwijl het op *Phytophthora* een negatief effect heeft. Een betere organische stofvoorziening leidt tot een grotere algemene activiteit van het bodemleven, wat de weerbaarheid versterkt.

De relaties die we vinden met de biologische factoren zijn minder sterk dan met de chemische. Het duidelijkst is de relatie met het percentage ongekleurde, inactieve schimmels in de bodem. Dit duidt wellicht op *fungistase*: beperking van de schimmelgroei door tekorten aan suikers of essentiële voedingselementen. Nieuwe schimmels die in het systeem komen, zoals bij een infectie met *Phytophthora*, krijgen dan minder kans om zich te vestigen. De inactiviteit van de schimmels kan ook het gevolg zijn van droogte, maar doordat de gronden tijdens het testen op bodemweerbaarheid voldoende vochtig zijn geworden, is deze relatie minder waarschijnlijk.

Een andere biologische factor die een rol speelt in bodemweerbaarheid is het aantal dauerlarven. Dit is de inactieve vorm van het type bacterie-etende nematoden dat houdt van een pionier-omgeving, en een snelle voortplantingscyclus heeft. Het aantal dauerlarven in de bodem vertoont een zeer sterke correlatie met de verrijkings index. Een lage verrijkings index geeft aan dat de hele nematoden gemeenschap gebaseerd is op een arm, basaal milieu. Een hoge verrijkings index wijst op een sterk verrijkte omgeving. Een groot aantal dauerlarven, en een hoge verrijkings index, laat een relatie zien met een slechtere bodemweerbaarheid. Als het systeem te rijk wordt, zijn alle

voedselbronnen in zo'n grote mate aanwezig, dat een pathogene schimmel zich makkelijk kan ontwikkelen. In de dataset vinden we ook een relatie met het aantal nematoden in cp-klasse 3, wat vermoedelijk verband houdt met verstoringen in het milieu. Voor het mechanisme hierachter hebben we echter geen duidelijke aanwijzingen kunnen vinden.

Tenslotte vinden we bij de biologische indicatoren relaties tussen bodemweerbaarheid en de frequentie van celdeling van de bacteriën, en de schimmel/bacterieverhouding. Een hogere frequentie van celdeling was gerelateerd aan een betere bodemweerbaarheid. Daarnaast duidt ook een lagere schimmel/bacterie verhouding op een betere bodemweerbaarheid. De combinatie van deze factoren laat zien dat met name de bacteriën in deze gronden een relatie vertonen met bodemweerbaarheid, en dat de activiteit van deze bacteriën hierbij met name van belang is.

Tenslotte hebben we gekeken naar het effect van management maatregelen op bodemweerbaarheid. Hierbij hebben we geen duidelijke relaties gevonden met (recente) bemesting en met de periode tot de laatste grondontsmetting. Het effect van organische bemesting moet waarschijnlijk vooral op de lange termijn beschouwd worden. Het effect van grondontsmetting is op korte termijn (de eerste maanden) waarschijnlijk negatief, wat blijkt uit de directe achteruitgang in bodemweerbaarheid na sterilisatie van de grond in de biotoets. Op iets langere termijn is voor *Phytophthora* waarschijnlijk het principe van algemene bodemweerbaarheid meer van belang. Hiervoor moet de beschikbare organische stof na grondontsmetting weer snel gekoloniseerd worden met schimmels en bacteriën. Voor pathogenen zoals *Verticillium*, waar specifieke bodemweerbaarheid van groter belang is, kan de relatie met grondontsmetting mogelijk anders liggen.

# Literatuur

Bongers, T. (1988). **De Nematoden van Nederland**. Natuurhistorische Bibliotheek van KNNV, nr. 46. Pirola, Schoorl.

Bongers, T en M. Bongers (1998). **Functional Diversity of Nematodes**. Applied Soil Ecology 10, pp. 239-251.

Broadbent, P. en K.F. Baker. (1974). **Behaviour of Phytophthora cinnamomi in soils suppressive and conducive to root rot**. Australian Journal of Agricultural Research 25, pp. 139-145.

CBS (2012). **Groenteteelt; oogst en teeltoppervlakte per groentesoort**.  
<http://statline.cbs.nl/StatWeb>

Chakraborty, S. and Warcup, J.H. (1983). **Soil amoebae and saprophytic survival of Gaeumannomyces graminis tritici in a suppressive pasture soil**. Soil Biology and Biochemistry 15(2), pp. 181-185.

Duczek, L.J. (1986). **Populations in Saskatchewan soils of spore-perforating amoebae and an amoeba (Thecamoeba granifera s.sp.minor) which feeds on hyphae of Cochliobolus**. Plant and Soil 92(2), pp. 295-298.

Ferris, H., T. Bongers en R.G.M. de Goede (2001). **A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept**. Applied Soil Ecology 18, pp. 13-29.

Jaffee, B.A., Muldoon, A.E. and Didden, W.A.M. (1997). **Enchytraeids and nematophagous fungi in soil microcosms**. Biology and Fertility of Soils 25, pp. 382-388.

Klotz, L.J., T.A. de Wolf en P. Wong. (1958). **Decay of fibrous roots of citrus**. Phytopathology 48, pp. 616-622.

Lamers, J. (2009). **Uitbreiding van een biotoets voor Phytophthora cactorum in aardbei naar een toets voor ziektevering**. Gewasbescherming 40(5), pp. 254.

Lopatecki, L.E. en W. Newton. (1956). **The nutrition of Phytophthora**. Canadian Journal of Botany, 34(5), pp. 751-757.

Melis, T. (2008). **Te veel borium sloop aardbeiproductie**. Groenten en Fruit 17, pp. 45.

Postma, J., E. Nijhuis, B. Evenhuis, J. Lamers, J. Debode en M. Maes. (2011). **Ziektevering in aardbei op substraat**. (handout BO project 12.03-003.02-008)

Sánchez-Moreno, S. en H. Ferris (2007). **Suppressive service of the soil food web: Effects of environmental management**. Agriculture, Ecosystems and Environment 119, pp. 75-87.

Torres-Barragán, A., E. Zavaleta-Mejía, C. González-Chávez en R. Ferrera-Cerrato (1996). **The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berk.) under field conditions.** Mycorrhiza 6, pp. 253–257.

Vermunt, A. (2008) **Gezonde aardbeiplanten maken het grote verschil.** Groenten en Fruit 12, pp. 28-29.

VDWresearch (2009) **Agribusiness Noord-Brabant 2009.** 49 pp.