



Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen

Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten

A.J. Termorshuizen, L.P.G. Molendijk, J. Postma

Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen

Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten

A.J. Termorshuizen¹, L.P.G. Molendijk², J. Postma³

1 Aad Termorshuizen Consultancy, www.bodemplant.nl

2 Wageningen University & Research | Open Teelten

3 Wageningen University & Research | Biointeracties en Plantgezondheid

Dit onderzoek is gefinancierd door TKI AgriFood en Brancheorganisatie Akkerbouw, en is uitgevoerd binnen de PPS Beter Bodembeheer (AF-16064).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, januari 2020

Rapport WPR-955



A.J. Termorshuizen, L.P.G. Molendijk, J. Postma, 2019. *Beheersing van bodempathogenen via bodemgezondheidsmaatregelen; Een overzicht van de beschikbare kennis voor een selectie van akkerbouwgewassen met hun bijbehorende bodemziekten*. Wageningen Research, Rapport WPR-955. 104 blz.; 1 fig.; 6 tab.; 304 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/513197>

Dit rapport geeft een overzicht van bodemmaatregelen die ingezet kunnen worden om bodempathogenen in de Nederlandse akkerbouw te beheersen. De nadruk ligt op de gewassen aardappelen, cichorei, granen, kool- en raapzaad, peen, peulvruchten, suikerbiet en ui. Relevante kennis in de wetenschappelijke literatuur en rapporten en kennis aanwezig bij experts vanuit lopend onderzoek is voor de meest voorkomende problematische bodempathogenen, zowel aaltjes als schimmels, in kaart gebracht.

Trefwoorden: Bodemmaatregelen, bodempathogenen, nematoden, schimmels, oömyceten, vruchtwisseling, compost, inundatie, grondontsmetting, bodemstructuur, biologische bestrijding

© 2019 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Biointeractions and Plant Health, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

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

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-955

Foto omslag: *Meloidogyne hapla* in peen veld

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
	Summary	9
1	Inleiding	11
	1.1 Leeswijzer	12
	1.2 Ziektewerende bodems	12
	1.3 Bodemgezondheidsmaatregelen tegen bodempathogenen	17
	1.3.1 Vruchtwisseling	17
	1.3.2 Organische-stof toevoegingen	19
	1.3.3 Biologische bestrijding	22
	1.3.4 Grondbewerking	23
	1.3.5 Zuurgraad van de bodem (pH)	25
	1.3.6 Zwavel (S)	25
	1.3.7 Overige maatregelen tegen bodempathogenen	26
	1.3.8 Biostimulanten en bodemverbeteraars	26
2	Maatregelen tegen bodempathogenen	28
	2.1 Aaltjes	28
	2.1.1 <i>Ditylenchus</i> (destructoraaltje en stengelaaltje)	30
	2.1.2 <i>Globodera</i> (aardappelpycysteaaltje; aca)	32
	2.1.3 <i>Heterodera</i> (bietencysteaaltjes; bca)	34
	2.1.4 <i>Meloidogyne</i> (wortelknobbelaaltjes; wka)	36
	2.1.5 <i>Paratrichodorus</i> en <i>Trichodorus</i> (vrijlevende aaltjes, trichodoriden)	40
	2.1.6 <i>Paratylenchus bukowinensis</i> en <i>Rotylenchus uniformis</i> (overige vrijlevende aaltjes)	43
	2.1.7 <i>Pratylenchus penetrans</i> (wortellesieaaltje)	44
	2.2 Schimmels	47
	2.2.1 <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i> (bolrot)	48
	2.2.2 <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> (tarwehalmdoder)	50
	2.2.3 <i>Plenodomus lingam</i> (stengelkanker, kankerstronken, vellers, zwartbeen)	51
	2.2.4 <i>Rhizoctonia solani</i>	53
	2.2.5 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> en <i>S. minor</i> (rattenkeutelziekte)	58
	2.2.6 <i>Sclerotium cepivorum</i> (witrot)	61
	2.2.7 <i>Synchytrium endobioticum</i> (wratziekte)	63
	2.2.8 <i>Verticillium dahliae</i> en <i>V. longisporum</i> (verticillium)	64
	2.3 Bacteriën, oömyceten en protisten	67
	2.3.1 <i>Aphanomyces</i> (oömyceet)	67
	2.3.2 <i>Phytophthora erythroseptica</i> (roodrot; oömyceet)	69
	2.3.3 <i>Plasmodiophora brassicae</i> (knolvoet; protist)	70
	2.3.4 <i>Pythium ultimum</i> groep (omvalziekte en wortelrot; oömyceet)	72
	2.3.5 <i>Pythium violae</i> & <i>P. sulcatum</i> (cavity spot; oömyceet)	74
	2.3.6 <i>Spongospora subterranea</i> f. sp. <i>subterranea</i> (poederschurft; protist)	76
	2.3.7 <i>Streptomyces</i> spp. (aardappelschurft of gewone schurft; bacterie)	78
3	Gewassen	80
	3.1 Aardappelen	80
	3.2 Cichorei	81
	3.3 Granen	81

3.4	Koolzaad	81
3.5	Peen	82
3.6	Peulvruchten	82
3.7	Suikerbieten	83
3.8	Uien	83
4	Witte vlekken	84
5	Conclusies	86
	Literatuur	90

Woord vooraf

Hoewel er kennis is over de beheersing van verschillende bodempathogenen, is er geen praktisch en betrouwbaar overzicht beschikbaar van alle mogelijke maatregelen die ingezet kunnen worden tegen deze bodempathogenen. Daarom heeft BO Akkerbouw gevraagd om deze kennis bijeen te brengen voor de belangrijkste akkerbouwgewassen en een selectie van de voor deze gewassen belangrijke bodempathogenen. De auteurs van dit rapport, samen met meer dan 100 jaar ervaring op het gebied van bodempathogenen, hebben hun kennis en informatie uit de literatuur bijeengebracht.

De deelnemers van de PPS Beter Bodembeheer hebben het proces kritisch gevolgd. Verder heeft een aantal specialisten de bijeengebrachte informatie aangevuld:

- ing. Thea van Beers, onderzoeker Plant Agrifirm Innovation Centre (Agrifirm, Apeldoorn),
- dr. ir. Bram Hanse, onderzoeker pathogenen in suikerbiet (IRS, Dinteloord),
- ir. Elma van den Hoek-Raaijmakers, onderzoeker nematoden in suikerbiet (IRS, Dinteloord),
- ir. Rogier Kolnaar, registratiespecialist (Linge Consultancy, Oosterhout),
- dr. Gera van Os (Aeres), lector Duurzaam bodembeheer (Aeres, Dronten),
- ing. Johnny Visser, onderzoeker bodempathogenen (WUR-Open Teelten, Lelystad).

Het resultaat is een lijvig dossier, bedoeld voor de specialist, de adviseur en de geïnteresseerde teler die een overzicht van de kennis zoekt. Aandacht is er zowel voor de bekende maatregelen, maar ook voor de innovaties waar in Nederland of elders onderzoek aan gedaan wordt. Ook maatregelen die duidelijk niet effectief bleken worden benoemd. Tabel 6 is bedoeld als het kristallisatiepunt van alle bijeengebrachte informatie.

Diverse onderzoeksgroepen bestuderen hoe bodempathogenen en -parasieten kunnen worden beheerst vanuit verschillende strategieën. Er is een grote variatie aan bodempathogenen: het kan gaan om schimmels, schimmelachtigen, protisten en bacteriën, en bij bodemparasieten gaat het om nematoden. Elk van deze groepen bevat weer een keur aan soorten, waarbij sommige één of enkele waardplanten hebben, en andere juist veel waardplanten. En de één overleeft in afwezigheid van waardplanten relatief kort (één tot enkele jaren) en de ander zeer lang (zelfs tot tientallen jaren). Wat ze gemeen hebben, is dat ze minimaal één jaar in de bodem kunnen overbruggen in afwezigheid van een waardplant. Verder verschillen de soorten erg in hun eigenschappen, waardoor ook het effect van maatregelen sterk verschilt per pathogeen. Sommige kunnen onderdrukt worden door aanwending van organische stof, voor andere is een gerichte vruchtwisseling de aangewezen weg.

In tegenstelling tot wat vaak gedacht wordt, zijn voor veel van de huidige bodempathogenen chemische bestrijdingsmiddelen geen optie, omdat ze er eenvoudig niet zijn of inmiddels aan banden gelegd zijn. Bestrijding van bodempathogenen dient bovendien preventief toegepast te worden en past daarmee niet in het beeld van "Integrated Pest Management" zoals de EU dat voorschrijft voor duurzame gewasbescherming. Weliswaar kunnen veruit de meeste bodempathogenen beheerst worden door de juiste vruchtwisseling te kiezen, maar de noodzakelijke ruime vruchtwisseling met bepaalde gewassen kan het lastig maken om bedrijfseconomisch rond te komen.

Terecht is er tegenwoordig veel aandacht voor bodemkwaliteit: een goede bodemstructuur is essentieel en voldoende organische stof in de bodem is nodig voor een actief bodemleven. Daarnaast staat de dynamiek van organische stof in de bodem ook in de belangstelling in het kader van vastlegging van organische koolstof. Vaak wordt hier echter niet de beheersing van plantenpathogenen meegenomen en het is bovendien maar zeer de vraag of met een goede bodemkwaliteit aanwezige bodembesmettingen voldoende worden bedwongen.

Helaas is het onmogelijk om volledig te zijn: wij zien deze deskstudie dan ook als een startpunt voor de integrale aanpak van bodempathogenen. De auteurs hopen op reacties en aanvullingen vanuit zowel de praktijk als de wetenschap, zodat een volgende versie nog completer kan zijn en een concrete bijdrage levert aan de ontwikkeling van een integrale aanpak op bedrijfsniveau.

Aad Termorshuizen, Joeke Postma en Leendert Molendijk.

Samenvatting

Een groot aantal bodempathogenen (schimmels en schimmelachtigen) en bodemparasieten (aaltjes) veroorzaken schade in Nederlandse akkerbouwgewassen, maar een goed overzicht van de mogelijkheden om bodempathogenen te beheersen of te bestrijden is er momenteel niet. Wel is er veel aandacht voor maatregelen die de bodemkwaliteit verbeteren, maar deze hebben niet altijd een bestrijdend of onderdrukkend effect op deze pathogenen en parasieten. In dit rapport presenteren we een zo volledig mogelijk overzicht van de voor de Nederlandse akkerbouw relevante kennis in de wetenschappelijke literatuur en rapporten en kennis aanwezig bij experts vanuit lopend onderzoek. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan methoden die nu in ontwikkeling zijn. In overleg met de opdrachtgever is besloten om in dit rapport insecten buiten beschouwing te laten. Dat geldt ook voor schimmels die wel een fase van hun levenscyclus in de bodem doorbrengen maar daar niet of nauwelijks actief zijn en vervolgens bovengronds tot expressie komen (bv. aardappelziekte (*Phytophthora infestans*) en bruinrot (*Ralstonia solanacearum*)).

De nadruk in dit rapport ligt op de gewassen aardappelen, cichorei, granen, kool- en rapenzaad, peen, peulvruchten, suikerbiet en ui. Hiervoor zijn de meest voorkomende problematische bodempathogenen geselecteerd (Tabel 1). De bodemgezondheidsmaatregelen die genomen kunnen worden zijn vervolgens per bodempathogeen beschreven in hoofdstuk 2. Hierbij is onderscheid gemaakt in maatregelen waarvan bekend is dat ze werken en maatregelen waaraan gewerkt wordt, maar die nog niet bewezen zijn. De praktische maatregelen die in dit rapport genoemd worden zijn in de meeste gevallen gebaseerd op resultaten uit veldproeven, of, als die niet beschikbaar waren, op resultaten uit potproeven met veldgrond. Ook maatregelen waarvan is aangetoond dat ze niet werken worden vermeld.

Hoofdstuk 1 bevat een algemene uitleg van ziekteverende gronden en een opsomming van de toe te passen maatregelen. Een belangrijke conclusie hieruit is, dat een goede bodemkwaliteit niet hoeft te betekenen dat de bodem onderdrukkend is tegen bodempathogenen en -parasieten. Na de beschrijving van maatregelen tegen specifieke pathogenen worden de maatregelen in de context van het gewas kort beschreven in hoofdstuk 3. Door het hele rapport zijn de belangrijkste witte vlekken gemarkeerd, en in hoofdstuk 4 opgesomd. In de conclusies (hoofdstuk 5) wordt aandacht besteed aan de vragen die nog open staan. Een samenvatting van alle effectieve maatregelen is in een tabel per pathogeen samengevat (Tabel 6).

In een door bodempathogenen al aangetast gewas zijn effectieve curatieve bestrijdingsmaatregelen niet beschikbaar. Preventie is daarmee de belangrijkste maatregel. Een uitgekende vruchtwisseling en het voorkómen van verspreiding van pathogenen naar andere percelen zijn daarom cruciaal. Bij sommige bodempathogenen kan vruchtwisseling lastig zijn vanwege de enorm brede waardplantenreeks. Kennis omtrent de aanwezige bodembesmettingen is belangrijk om effectief preventieve maatregelen te kunnen nemen. Voor pathogene aaltjes zijn weliswaar goede en betaalbare methoden beschikbaar om de mate van bodembesmetting te kunnen aantonen, maar voor schimmels, schimmelachtigen en bacteriën ontbreken deze voor de meeste soorten. In dat geval is kennis omtrent de teelthistorie inclusief de optredende aantastingen essentieel. Verder komt in dit literatuuronderzoek duidelijk naar voren dat werken aan een goede bodemstructuur belangrijk is, zowel voor de conditie van het gewas, als voor de reductie van een actieve verspreiding en infectie van een aantal algemene bodempathogenen die vrij water nodig hebben (oömyceten en enkele protisten). Ook voor *Rhizoctonia solani* kan dit van groot belang zijn.

Voor een beperkt aantal bodempathogenen zijn er specifieke maatregelen beschikbaar (samengevat in Tabel 6), zoals pH verhogen (*Aphanomyces cochlioides*) en knolvoet, (*Plasmodiophora brassicae*), pH verlagen (gewone schurft, *Streptomyces scabies*), teelt van Tagetes (tegen *Pratylenchus penetrans*, wortelziekteaaltje), inundatie, anaerobe grondontsmetting, onkruidbestrijding (in combinatie met

vruchtwisseling) en het gebruik van resistente of tolerante rassen. De technische uitvoerbaarheid en de kosten zijn vaak een belemmering voor implementatie.

Uit het literatuuroverzicht blijkt dat er eigenlijk maar betrekkelijk weinig andere maatregelen beschikbaar zijn om bodempathogenen tegen te gaan. Er lijken opties te zijn op het terrein van compost, specifieke organische stoffen, biologische bestrijding en meer recent ook groenbemesters, maar er is op dit moment weinig wat als bewezen effectief gezien kan worden. Bij groenbemesters is er toenemende aandacht voor resistenties tegen specifieke aaltjes en gecombineerde resistenties, waardoor er meer opties komen om gronden gericht te laten uitzielen. Veel werk is en wordt gedaan aan specifieke organische stoffen. De variatie in effecten is hoog, maar diverse resultaten lijken wel perspectieven voor de toekomst te bieden. Een belangrijk aspect is de betaalbaarheid van de stoffen. Zo kan chitine gunstige effecten hebben, echter alleen bij niveaus die op dit moment bedrijfseconomisch onhaalbaar zijn. De ontwikkelingen in de biologische bestrijding van bodempathogenen zijn onzeker. Enerzijds is er een aantal toegelaten middelen, maar in de literatuur zijn bevestigingen dat die middelen inderdaad in de praktijk effectief zijn maar mondjesmaat beschikbaar. Anderzijds zijn er veel biologische middelen in onderzoek. Toepassing van mengsels van diverse biologische bestrijders worden wel onderzocht, maar hoe deze betaalbaar door de Europese en nationale toelatingsprocedure kunnen komen is nu niet duidelijk.

Deze literatuurstudie is uitgevoerd in opdracht van Brancheorganisatie Akkerbouw binnen de PPS Beter Bodembeheer (AF-16064).

Summary

A considerable number of soil-borne pathogens (fungi and fungal-like) and soil-borne parasites (nematodes) incite crop loss in Dutch arable farming. However, an overview of possibilities to manage or control these is currently lacking. Although currently quite some attention is being paid to improve soil quality, these measures do not necessarily reduce soil-borne pathogens and parasites. Here, we present an overview of the current state of knowledge on management of soil-borne pathogens in Dutch arable farming based on scientific publications and reports. Also attention is paid to promising methods and methods currently under development. No attention is paid to problematic soil-borne insects. Also diseases present in soil for only part of their life cycle, not being active in soil and causing symptoms above soil, are not included (e.g. *Phytophthora infestans* (potato late blight) and *Ralstonia solanacearum* (brown rot)).

The focus crops in this report are potatoes, chicory, cereals, rape seed, carrots, legumes, sugar beets and onions. For these crops, the most common soil-borne pathogens and parasites were selected (Table 1). Soil quality-related measures, including crop rotation issues, that can be taken are treated for each pathogen and parasite separately. Included are proven measures, measures under development, and proven ineffective measures.

Chapter 1 presents a general description of disease suppressive soils and possible measures that contribute to the development of disease suppression. It is concluded that disease quality and disease suppression are not necessarily linked. Chapter 2 deals with the individual nematodes (Ch. 2.1), fungi (Ch. 2.2) and fungal-likes (Ch. 2.3). Chapter 3 summarizes concisely the results per crop. Throughout the text, knowledge gaps are indicated, and these are summed up in Chapter 4. Conclusions are made in Chapter 5. The effective measures are concisely summarized in Table 6.

A crop that is affected by soil-borne pathogens or parasites can generally not be cured. Consequently, prevention is the most common option to manage them. For this, a sophisticated crop rotation scheme is crucial, as well as hygienic measures to avoid dispersal of pathogens and parasites. In order to undertake preventive actions, knowledge on existing soil infestations is needed. For nematodes, proper and affordable detection methods are available, but for fungi and fungal-like pathogens these methods are lacking. For these pathogens, it is essential that farmers administrate the problems they have for each field. From the literature search a clear picture appears about the effects of soil-improving measures, being important for the crop itself as well as for reduction of those pathogens that need free water for their dispersal (oomycetes and several protists) as well as for *Rhizoctonia solani*.

For a limited number of soil-borne pathogens and parasites specific measures are available (Table 6), such as pH management (*Aphanomyces cochlioides*, *Plasmodiophora brassicae* and *Streptomyces scabies*), cultivation of *Tagetes* (against *Pratylenchus penetrans*), inundation (flooding), anaerobic soil disinfestation (ASD), weed control (combined with crop rotation) and the use of resistant or tolerant cultivars. The feasibility of measures are strongly influenced by their costs.

The general conclusion is that options to manage soil-borne diseases are quite limited. There are options available for compost, some specific organic amendments (e.g. chitin) and green manure crops, but none of them are fully effective.

The deskstudy is commissioned by the Interbranch Organisation Arable Crops within the Topsector project Sustainable Soil Management (AF-16064 'Beter Bodembeheer').

1 Inleiding

De Nederlandse akkerbouw heeft last van een reeks aan bodempathogenen (schimmels en schimmelachtigen) en bodemparasieten (aaltjes)¹. Tegelijk is er veel aandacht voor maatregelen die de bodemkwaliteit verbeteren. De veronderstelling bestaat dat verbetering in bodemkwaliteit ook betekent dat bodempathogenen onderdrukt zullen worden. Of dit zo is, staat centraal in dit rapport. De nadruk ligt op die praktische maatregelen ter verbetering van de bodemkwaliteit die bodempathogenen in de akkerbouw effectief onderdrukken. De praktische maatregelen die in dit rapport genoemd worden zijn in de meeste gevallen gebaseerd op resultaten uit veldproeven, of, als die niet beschikbaar waren, op resultaten uit potproeven met veldgrond.

In overleg met BO-Akkerbouw ligt de nadruk op de gewassen aardappelen, cichorei, granen, kool- en rapenzaad, peen, peulvruchten, suikerbiet en ui. De hierop voorkomende meest problematische bodempathogenen zijn geselecteerd (Tabel 1). In overleg met de opdrachtgever is besloten om in dit rapport insecten buiten beschouwing te laten. Dat geldt ook voor schimmels die wel een fase van hun levenscyclus in de bodem doorbrengen maar daar niet of nauwelijks in actief zijn en vervolgens bovengronds tot expressie komen (bv. aardappelziekte (*Phytophthora infestans*) en bruinrot (*Ralstonia solanacearum*)).

Tabel 1 Meest voorkomende bodempathogenen die schade veroorzaken bij de akkerbouwgewassen. De informatie is vooral ontleend aan het aaltjesschema (www.aaltjesschema.nl) en het schimmelschema (Lamers et al., 2016). Een kruisje staat bij die vakken waarbij matige tot ernstige schade kan optreden. Een ? is vermeld als er wel sterke aanwijzingen zijn voor schade maar hierover geen harde gegevens beschikbaar zijn. De tabel is samenvattend, zo tasten bijvoorbeeld diverse pathogenen niet alle typen granen aan.

pathogeen		aardappelen	cichorei	granen	kool- en rapenzaad	peen	peulvruchten	suikerbieten	ui
AALTJES									
<i>Ditylenchus destructor</i>	destructoraaltje	x							
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	stengelaaltje	x		x		x	x	x	x
<i>Globodera rostochiensis</i> , <i>G. pallida</i>	aardappelcysteaaltje	x							
<i>Heterodera schachtii</i>	wit bietencysteaaltje				x			x	
<i>Heterodera betae</i>	geel bietencysteaaltje				x		x	x	
<i>Meloidogyne chitwoodi</i>	maïswortelknobbelaaltje	x				x	x	x	
<i>Meloidogyne fallax</i>	bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje	x				x	x	x	
<i>Meloidogyne hapla</i>	noordelijk wortelknobbelaaltje	x	x			x	x	x	x
<i>Meloidogyne naasi</i>	graswortelknobbelaaltje			x				x	x
<i>Paratrichodorus pachydermus</i>	-	x	?		x	x	x	x	x
<i>Paratrichodorus teres</i>	-	x	?		x	x	x	x	x
<i>Paratylenchus bukoniwensis</i>	speldaatje		?		?	x	?	?	?
<i>Pratylenchus penetrans</i>	wortellesieaaltje	x				x	x	x	x
<i>Trichodorus primitivus</i>	-	x	?		x	x	x	x	x
<i>Trichodorus similis</i>	-	x	?		x		x		x

¹ In dit rapport wordt meestal kortweg de term "bodempathogenen" voor zowel plantpathogene schimmels, schimmelachtigen, bacteriën als voor plantparasitaire aaltjes gebruikt.

pathogeen		aardappelen	cichorei	granen	kool- en raapzaad	peen	peulvruchten	suikerbieten	ui
SCHIMMELS									
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i>	bolrot								x
<i>Gaeumannomyces graminis</i>	tarwehalmdoder			x					
<i>Plenodomus lingam</i> ^a	stengelkanker				x				
<i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-1	zwartpoot				x				
<i>Rhizoctonia</i> AG 2-2 IIIB	wortelrot					x		x	
<i>Rhizoctonia solani</i> AG 3	lakschurft	x							
<i>Sclerotinia minor</i>	rattenkeutelziekte		x		x	x	x		
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	rattenkeutelziekte		?		?	x	x	x	
<i>Sclerotinia cepivorum</i>	witrot								x
<i>Synchytrium endobioticum</i>	wratziekte	x							
<i>Verticillium dahliae</i>	verticillium	x						x	
<i>Verticillium longisporum</i>	verticillium				x				
BACTERIËN, OÖMYCETEN EN PROTISTEN									
<i>Aphanomyces cochlioides</i>	-								x
<i>Aphanomyces euteiches</i>	-						x		
<i>Phytophthora erythroseptica</i>	roodrot	x							
<i>Plasmidiophora brassicae</i>	knolvoet				x				
<i>Pythium ultimum</i> groep	Pythium-omvalziekte en wortelrot				x		x	x	
<i>Pythium violae</i> & <i>P. sulcatum</i>	cavity spot					x			
<i>Spongospora subterranea</i>	poederschurft	x							
<i>Streptomyces scabies</i>	gewone schurft of aardappelschurft	x							

^a = *Leptosphaeria maculans* = *Phoma lingam*.

1.1 Leeswijzer

In dit hoofdstuk wordt een algemene uitleg van ziekteverende gronden gegeven (par 1.2) en een beschrijving van de toe te passen maatregelen (par. 1.3). Centraal staan in dit literatuuroverzicht de bodemgezondheidsmaatregelen die per bodempathogeen genomen kunnen worden (hoofdstuk 2). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in maatregelen waarvan bekend is dat ze werken en maatregelen waaraan gewerkt wordt, maar die nog niet bewezen zijn. Ook maatregelen waarvan is aangetoond dat ze niet werken worden vermeld. De maatregelen worden in de context van het gewas kort beschreven in hoofdstuk 3. Teksten met een '*' gevolgd door een letter geven aan waar de belangrijkste witte vlekken zijn. Deze zijn in hoofdstuk 4 opgesomd onder de corresponderende letter. In de conclusies (hoofdstuk 5) worden de belangrijkste maatregelen samengevat (Tabel 6) en wordt aandacht besteed aan de vragen die nog open staan.

1.2 Ziekteverende bodems

Een ziekteverende bodem is een bodem waarin een aanwezig pathogeen niet of veel minder schade veroorzaakt dan in andere bodems. Een bodem kan ziekteverend zijn doordat het de aanwezige pathogenen inactief houdt of doordat deze afsterven (Hornby, 1983). Een bodem kan een pathogeen inactief houden bijvoorbeeld doordat ze geen kans heeft om zich te verspreiden. Zo hebben *Pythium ultimum* (omvalziekte en -wortelrot) en *Spongospora subterranea* (poederschurft) veel minder kans in bodems waarin geen natte plekken ontstaan. Dat komt omdat deze pathogenen zoösporen vormen. Dit zijn cellen met een zweepdraad, ook wel zwerm sporen genoemd, die alleen in water actief kunnen zijn. Bovendien voelen veel antagonisten zich in een te natte grond niet thuis. Naast directe effecten

op pathogenen kunnen bodemorganismen ook effecten hebben op het resistentieniveau van de plant. Anders gezegd, bodemgezondheid kan de plantweerbaarheid beïnvloeden. Wetenschappelijke overzichtsartikelen zijn o.a. Raaijmakers et al. (2009) en Termorshuizen & Jeger (2008).

Een bodem waarin doding van pathogenen optreedt kan worden veroorzaakt door aanwezige biologische bestrijders (antagonisten) of door toxische stoffen die door planten of micro-organismen worden uitgescheiden. Ook bij biologische bestrijders kan het mechanisme van doding veroorzaakt worden door productie van toxische stoffen (antibiotica), maar parasitisme speelt ook vaak een rol. Een ziekteverend agro-ecosysteem is een perceel of bedrijf waarop ziekte zich niet of nauwelijks ontwikkelt, ook al is het pathogeen aanwezig. Op basis van het werkingsmechanisme kan ziekteverendheid ingedeeld worden in de volgende typen:

1. Verhoogde systeemweerbaarheid:

- vruchtwisseling: door het langdurig telen van niet-waardplanten (inclusief het telen van resistente rassen van een waardplant) treedt natuurlijke sterfte op in de loop van de tijd. Soms kunnen pathogenen vermeerderen op gewassen die daar zelf nauwelijks of geen last van hebben. Deze gewassen worden ook tot de waardplanten gerekend.
- bestrijding door middel van specifieke vruchtwisseling: door de teelt van een gewas dat de besmetting actief vermindert (de teelt van *Tagetes patula* (afrikaantje) tegen *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje))².

2. Microbiële ziektevering:

- maakt de leefomgeving minder geschikt voor pathogenen door:
 - competitie om voedsel en ruimte (algemene ziektevering).
 - parasitisme en predatie (biologische bestrijding, specifiek).
 - productie van antibiotica (door toepassing van biologische bestrijders, specifiek)³.
 - productie van toxische vluchtige verbindingen (specifiek).
- maakt de plant minder vatbaar voor aantasting:
 - geïnduceerde resistentie door middel van biostimulanten (biotisch of abiotisch).

Microbiële ziektevering kan worden verkregen door:

- toepassing van grote hoeveelheden organische stof, zoals compost (algemene ziektevering).
- toepassing van biologische bestrijders (biologische bestrijding).
- creëren van situaties waarin biologische bestrijders bevorderd worden, bijvoorbeeld door een bepaalde vruchtwisseling of de toepassing van een specifieke organische stof.

De termen "algemeen" en "specifiek" duiden op het aantal soorten micro-organismen dat in de ziektevering betrokken is (bij algemene ziektevering veel micro-organismen en bij specifieke ziektevering één micro-organisme), en niet op de reikwijdte van een effect. Zo zijn sommige pathogenen gevoelig voor algemene ziektevering (bv. *Pythium* (omvalziekte en wortelrot) en andere niet (bv. *Spongospora subterranea* (poederschurft)). Dit geldt ook voor specifieke ziektevering: dit treedt ten opzichte van veel andere bodempathogenen relatief vaak op bij *Rhizoctonia solani* (o.a. wortelrot en lakschurft) maar niet of nauwelijks bij *Meloidogyne* (wortelknobbelaaltje). De meeste pathogenen zijn gevoelig voor verschillende mechanismen van onderdrukking (Figuur 1). Een combinatie van verschillende mechanismen door consortia van micro-organismen is het meest effectief.

3. Abiotische ziektevering:

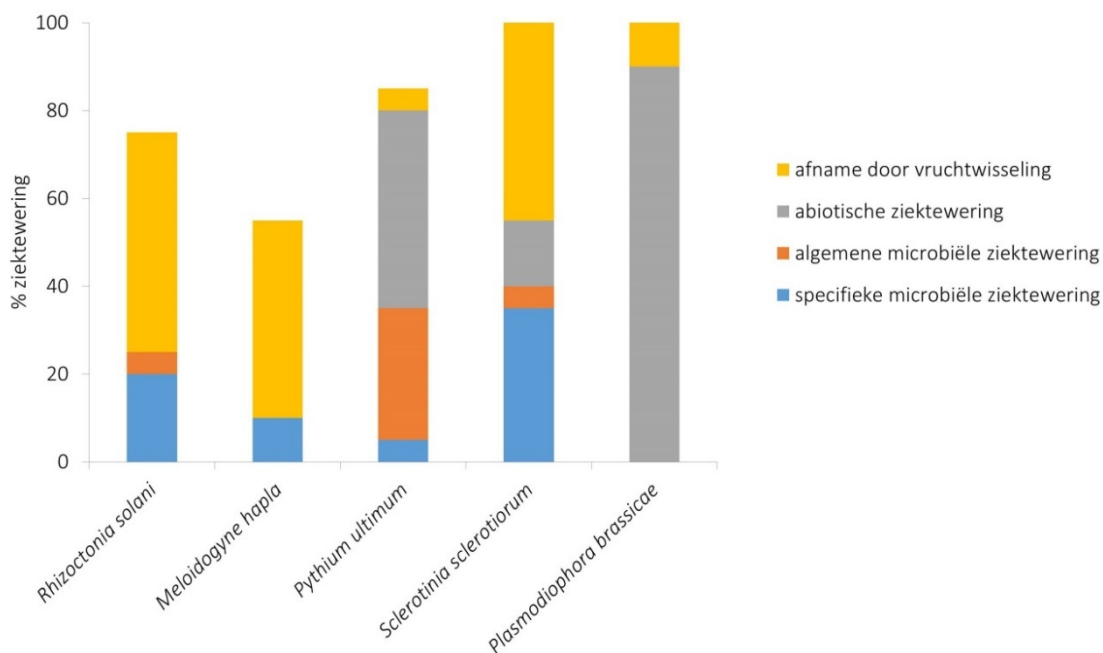
- creëren van een ongunstig abiotisch milieu voor pathogenen (bijvoorbeeld bekalken tegen *Aphanomyces cochlioides* in suikerbiet en *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet).
- het tegengaan van natte plekken (vooral effectief tegen pathogenen die zoösporen vormen, die alleen in vrij water actief blijven, bijvoorbeeld *Spongospora subterranea* (poederschurft) en *Pythium ultimum* (omvalziekte en -wortelrot), maar ook tegen *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB in suikerbiet).

² Dit is momenteel het enig bekende gewas dat gedurende een zomerteelt een pathogeen effectief kan bestrijden.

³ Productie van antibiotica door antagonisten is het mechanisme van het verminderen van tarwehalmdoder (*Gaeumannomyces graminis*) in continueelt tarwe.

- verhogen van de weerbaarheid van een gewas door het wegnemen van plantstressbevorderende omstandigheden (bijvoorbeeld verdichte bodemlagen die een goede beworteling belemmeren, een slechte zuurstofvoorziening van de wortels door een slechte bodemstructuur en nutriëntengebrek)⁴. Ook de optimalisatie van nutriëntenbeschikbaarheid valt hieronder (review door Dordas, 2008). In het algemeen geldt dat nutriëntentekorten de schadedrempel van pathogenen verlaagt. Bij hoge stikstofniveaus zijn planten in het algemeen vatbaarder voor obligate pathogenen en minder vatbaar voor facultatieve pathogenen⁵. In sommige gevallen zijn effecten van micronutriënten gemeld (bv. Mn, Si en Zn), maar voor de in dit verslag behandelde pathogenen zijn zulke effecten niet bekend. Effecten van zwavel (S) worden besproken in par. 1.3.6. Ook biostimulanten kunnen de weerbaarheid van een gewas verhogen, maar voorbeelden hiervan die effectief zijn in de Nederlandse akkerbouw ontbreken vooralsnog (par. 1.3.8).

De indeling in typen ziektevermindering is enigszins kunstmatig omdat effectieve maatregelen kunnen berusten op meerdere mechanismen. Zo kan een complex medium als compost via diverse mechanismen leiden tot ziektevermindering. Ook kan één antagonist meerdere werkingsmechanismen kennen. *Trichoderma*-soorten zijn bijvoorbeeld in staat zowel diverse pathogenen te parasiteren als geïnduceerde resistentie bij planten teweeg te brengen. Tot welk type ziektevermindering een bepaalde maatregel behoort staat hier niet centraal, het gaat er om welke maatregel effectief is. Een conceptueel voorbeeld van hoe ziektevermindering opgebouwd kan zijn is voor vijf pathogenen weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Conceptuele weergave van mate van ziektevermindering en de mechanismen die daarbij een rol spelen voor vijf bodempathogenen. De maximaal te behalen ziektevermindering is pathogeen-afhankelijk en bestaat uit een stapeling van verschillende mechanismen, zoals hieronder per pathogeen toegelicht.

- *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft): volledige ziektevermindering is lastig te bereiken omdat de ziekte ook bij zeer geringe dichtheden kan optreden. De voornaamste aanpak is via vruchtwisseling, omdat alleen aardappel vatbaar is; er zijn aanwijzingen dat organische-stofbeheer de ziekte kan afremmen (algemene microbiële ziektevermindering); en er zijn veel biologische bestrijders bekend, die ook spontaan kunnen optreden – evenwel is hun effectiviteit in de praktijk meestal beperkt (specifieke microbiële ziektevermindering).
- *Meloidogyne hapla* (Noordelijk wortelknobbelaaltje): de maximale ziektevermindering die kan worden bewerkstelligd is vrij laag ingeschat (60%) omdat maatregelen via bodemgezondheid maar een

⁴ Verhoogde plantweerbaarheid via plantenveredeling is geen onderwerp van deze studie.

⁵ Obligate pathogenen zijn afhankelijk van levende planten, facultatieve pathogenen infecteren levende planten en doden deze.

beperkt effect hebben, verder is toepassing van chitine (specifieke microbiële ziektevering)⁶ beperkt effectief. De belangrijkste maatregel is vruchtwisseling.

- *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot): de maximale ziektevering die kan worden bewerkstelligd is ingeschat op 85%, omdat zelfs bij zeer beperkte overleving toch snel een ernstige aantasting kan optreden. De voornaamste aanpak is via structuurverbetering van de grond, waardoor de zwerm-sporen niet in vrij water kunnen bewegen (abiotische ziektevering) en in geringere mate de toepassing van compost e.d. (algemene microbiële ziektevering) omdat *Pythium* slecht tegen concurrentie kan.
- *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte): de maximale ziektevering die kan worden bewerkstelligd is ingeschat op 100%, vooral door een combinatie van vruchtwisseling en de beschikbaarheid van effectieve biologische bestrijding (specifieke microbiële ziektevering).
- *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet): de maximale ziektevering die kan worden bewerkstelligd is ingeschat op 100%, vooral doordat bekalking een effectieve maatregel is (abiotische ziektevering).

Nogal eens wordt aangenomen dat bodemgezondheid en weerbaarheid tegen bodempathogenen aan elkaar gekoppeld zijn. Dit kan, maar hoeft niet (Larkin, 2015). Bij diverse bodempathogenen is dit verband duidelijk aanwezig: zo kunnen in natte gronden o.a. *Pythium ultimum* (omvalziekte en -wortelrot) en *Spongospora subterranea* (poederschurft) zich goed ontwikkelen, zijn zure gronden gunstig voor *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet), en kan microbiële activiteit gunstig zijn tegen bodempathogenen, o.a. tegen *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft) en *Gaeumannomyces graminis* (tarwehalmdoder). Maar bij een reeks van andere pathogenen kan met een goede bodemstructuur, aanwending van bepaalde typen organische stof of met specifieke aanwendingen zoals chitine, nauwelijks iets uitgericht worden. Voorbeelden hiervan zijn *Globodera* (aardappelpycysteaaltje) en *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (wortelrot bij ui). Vaak is dan vruchtwisseling met niet-waardplanten of inzet van resistente rassen de beste aanpak, waardoor de pathogenen uiteindelijk, pas na vele jaren, verhongeren. Daarmee verhoogt vruchtwisseling de systeemweerbaarheid.

Aan bodemkwaliteit gerelateerde parameters zijn lang niet altijd duidelijk gekoppeld met ziektevering. Zo worden onder andere bodemademhaling (respiratie), het aantal bodemschimmels en -bacteriën en samenstelling van bodem-organische stof en regenwormen wel geassocieerd met bodemkwaliteit en bodemgezondheid, maar hoe die vervolgens gerelateerd zijn met ziektevering is vaak niet duidelijk. Alleen bij extreme niveaus van bodemparameters kan er wel een relatie zijn met ziektevering, zoals geringe respiratie direct na chemische grondontsmetting, waarin door het bijna ontbreken van microbiële populaties ziektevering gedurende beperkte tijd onnatuurlijk laag kan zijn. Aan de andere kant, ook een zeer hoge bodemrespiratie kan gerelateerd zijn aan een geringe ziektevering, bijvoorbeeld als grote hoeveelheden makkelijk afbreekbare gewasresten aan de bodem zijn toegediend. Dan is voedsel niet een beperkende factor, zodat sommige bodempathogenen zich vanuit hun ruststructuren kunnen ontwikkelen. Wat het optimale niveau van bodemrespiratie is hangt van veel factoren af, zoals bodemtype en organische-stofgehalte en -kwaliteit, en dan nog is niet voorspelbaar of dit ook leidt tot een optimale ziektevering. Een ander voorbeeld dat aangeeft dat er niet noodzakelijk een verband bestaat tussen aan bodemkwaliteit gerelateerde parameters en ziektevering van bodems betreft regenwormen. Het staat vast dat regenwormen in kleigronden goed zijn voor de bodemkwaliteit: ze beïnvloeden de bodemstructuur, en dus zouden regenwormen op deze manier gunstig kunnen zijn voor de beheersing van die pathogenen die zich goed ontwikkelen in natte gronden. Toch is een relatie tussen regenwormen en ziektevering van bodems voor zover bekend nooit aangetoond, waarschijnlijk omdat ook in de aanwezigheid van regenwormen een grond bij teveel regenval te nat kan zijn, wat gunstig is voor diverse bodempathogenen. Bovendien, ook al zou een advies voor natte gronden zijn om de hoeveelheid regenwormen te verhogen, dan is nog onbekend wat de streefwaarden zijn (hoeveel regenwormen zijn optimaal?) en welke maatregelen eventueel leiden tot die streefwaarden. Daarnaast zijn er ook andere, effectievere maatregelen denkbaar om de bodemstructuur te verbeteren dan het aanwenden van regenwormen.

Los van ziektevering is bodemgezondheid ook belangrijk voor het functioneren van planten. In het algemeen hebben jonge planten en door abiotische stress verzwakte planten (bv. droogte of

⁶ Chitine kan effectief zijn, maar vooralsnog kostbaar voor praktijktoepassing.

onevenwichtige voeding) een verhoogde vatbaarheid voor pathogenen en plaagorganismen. Het is dus altijd van belang dat de uitgangssituatie voor een gewas goed is. Verdichte gronden leiden bijvoorbeeld in natte periodes tot zuurstofarme gronden, en daarmee tot gestresste wortels die dan een makkelijke invalspoort vormen voor pathogenen die zich onder die omstandigheden juist thuis voelen, zoals *Pythium ultimum* (omvalziekte en -wortelrot) en *Aphanomyces euteiches* (wortelrot bij peulvruchten). Als bekend is dat een perceel besmet is met een pathogeen die jonge planten aantast, dan kan het zinvol zijn om teeltmaatregelen in te zetten die de snelheid van groei in het jonge plantstadium bespoedigen (bv. later zaaien (de bodemtemperatuur is dan hoger), minder diep poten, voorkiemen). Ook dient de bemestingstoestand van de bodem in overeenstemming te zijn met de behoefte van het gewas.

Tegen geen van de hier behandelde bodempathogenen (Tabel 1) is een curatieve bestrijdingsmaatregel in een aangetast gewas mogelijk. Maatregelen dienen dus preventief te zijn. In veel gevallen is dat een kwestie van een lange adem. Zo geeft een aanwending van 20 ton/ha compost een verhoging van het organische-stofgehalte in de grond van slechts zo'n 0,1%-punt, dus een grond met 3,0% organische stof heeft na aanwending een organische-stofgehalte van 3,1%. Het zal duidelijk zijn dat van zo'n enkele aanwending niet veel effect te verwachten valt. Aangezien bodempathogenen grondgebonden zijn is hygiëne een uiterst belangrijke maatregel: schoon plantgoed en schone machines zijn essentieel, maar geen onderdeel van deze studie.

Een preventieve behandeling heeft baat bij grondonderzoek voorafgaand aan de teelt. Is de besmetting van de grond hoog, dan kan de teler er voor kiezen een ander gewas te telen, of, indien beschikbaar, een resistent of tolerant ras te nemen. Kwantitatief grondonderzoek door commerciële laboratoria is mogelijk en goed betaalbaar voor alle plantparasitaire aaltjes, maar voor schimmels is dit alleen betaalbaar voor *Sclerotium cepivorum* (witrot) en, zij het vrij prijzig, *Verticillium dahliae*. Verder is er een DNA-multiscan beschikbaar, maar deze is niet kwantitatief en onduidelijk is hoe van een hele akker een representatief monster genomen kan worden. Bovendien is de DNA-multiscan voor sommige belangrijke pathogenen, zoals *Fusarium oxysporum*, onvoldoende specifiek^{*A}. Een nieuwe ontwikkeling is de extractie van DNA uit grote volumes grond (250 g tot 1 kg) (Woodhall et al., 2012; Schulze et al., 2016). Ook zijn de afgelopen jaren diverse protocollen ontwikkeld om specifieke pathogene schimmelsoorten te kwantificeren met DNA-analyses. Combinatie van beide ontwikkelingen maakt het kwantificeren van ziekteverwekkers die in geringe dichtheden in de grond overleven (zoals *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte), *Rhizoctonia solani* (o.a. wortelrot en lakschurft) en *Verticillium dahliae* (verwelking)) in principe mogelijk. Deze technieken worden echter nog niet routinematig toegepast en voor een zinvolle interpretatie is bovendien kennis nodig over de schadedrempels van deze ziekteverwekkers. Ook worden in sommige landen snelle toetsen met plantmateriaal (biotoetsen) uitgevoerd om het risico van infectie met een bepaald bodempathogeen te testen. Een voorbeeld hiervan is het testen van de infectie-potentiaal van *Aphanomyces euteiches* (wortelrot bij peulvruchten) dat veel schade kan veroorzaken in erwt (Frankrijk: Arvalis, 2010; Canada: SeedLabsInc, 2017). Voor die pathogenen waarvoor geen bodemonderzoek mogelijk is, moet de teler op de hoogte zijn van een besmetting die optrad in een vorig gewas. Hiervoor is het noodzakelijk dat telers perceelsgewijs hun ervaringen goed documenteren. Alleen dan kunnen er preventieve maatregelen genomen worden. Voor sommige bodempathogenen lijkt kwantificering voorafgaand aan een teelt minder zinvol omdat deze zich pas na ontwikkeling van een gewas explosief vermeerderen (bv. *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot) en *Rhizoctonia solani* (o.a. wortelrot en lakschurft)). Een kwantitatieve toets voor grondbesmetting is dan weinig zinvol omdat deze pathogenen zich explosief kunnen vermeerderen, van ondetecteerbaar voorafgaand aan een gewas tot schade enkele weken na zaaien. Ook heeft verschil in weerbaarheid van verschillende bodems tegen deze pathogenen een zodanige impact op de relatie tussen mate van besmetting en het optreden van schade, dat de aanwezigheid van het pathogeen weinig zegt.

1.3 Bodemgezondheidsmaatregelen tegen bodempathogenen

De volgende bodemgezondheidsmaatregelen tegen bodempathogenen worden hier onderscheiden:

- vruchtwisseling inclusief resistente rassen en groenbemesters,
- organische-stoftoedieningen,
- biologische bestrijding,
- grondbewerking,
- pH-beïnvloeding,
- inundatie,
- anaerobe grondontsmetting (ook wel ASD, anaerobic soil disinfection, genoemd).

1.3.1 Vruchtwisseling

Het afwisselen van gewassen in opeenvolgende seizoenen is de oudste vorm van beheersing van bodempathogenen. Bijna altijd is het zo dat het achtereenvolgens telen van hetzelfde gewas uiteindelijk leidt tot schade door bodempathogenen⁷. Afwisseling van waardplanten met niet-waardplanten is daarom een verstandige keus. Tijdens de teelt van niet-waardplanten neemt de besmetting met bodempathogenen die ontstond tijdens de teelt van het vorige gewas af. In veel gevallen lijden waardplanten weliswaar geen zichtbare schade, maar vermenigvuldigen bodempathogenen zich er toch op. Zo vermenigvuldigen bietencysteaaltjes (*Heterodera betae* en *H. schachtii*) zich uitstekend op winterkoolzaad, terwijl deze nauwelijks tot geen schade lijdt. Als onkruidbestrijding niet juist wordt aangepakt dan kan dit de effecten van vruchtwisseling teniet doen. Zo is bij de beheersing van *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet) de onkruidbestrijding van cruciferen (bv. herderstasje) belangrijk.

Ook groenbemesters zijn belangrijk bij de beheersing van bodempathogenen. In de winter geteelde groenbemesters worden op de eerste plaats gebruikt om stikstofverliezen en bodemerosie tegen te gaan, maar ze kunnen ook aanwezige pathogenen onderdrukken of bevorderen. Het is dus zaak om groenbemesters te kiezen die een bestaande aaltjesbesmetting in ieder geval niet bevorderen. De waardplantstatus van gewassen, inclusief die van groenbemesters, staat voor de meeste aaltjes beschreven in www.aaltjesschema.nl en die van pathogene bodemschimmels in Lamers et al. (2016). Deze overzichten staan in dit rapport bij de behandeling van de afzonderlijke ziekteverwekkers (hoofdstuk 2). Gewas- en raskeuze kan het best ingezet worden als duidelijk is wat de besmettingsstatus is van een grond. Als er besmetting is met meerdere pathogenen kan het een uitdaging zijn om tot een juiste vruchtwisseling en keus van groenbemesters te komen.

Een zomerteelt van *Tagetes patula* (afrikaantje) kan *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) met succes onderdrukken, maar tegelijk kan het een aantal soorten (Para)Trichodoriden, als deze aanwezig zijn, waarschijnlijk bevorderen. Een goede ontwikkeling van de *Tagetes* is essentieel voor een succesvolle bestrijding van *P. penetrans*. Dit kan lastig zijn bij een sterke onkruiddruk. In dat geval is onkruidbestrijding dus van wezenlijk belang, enerzijds omdat *P. penetrans* zich op talrijke onkruiden kan vermeerderen, anderzijds omdat anders *Tagetes* niet de gelegenheid krijgt zich goed te ontwikkelen.

De tijdsduur tussen inwerken van groenbemesters en het inzaaien van een nieuw gewas kan forse effecten hebben. Zeker in het geval dat de ingewerkte groenbemester nog groen is of recent gedood door een herbicide, kunnen *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot) en *Rhizoctonia solani* (o.a. wortelrot en lakschurft) zich sterk vermenigvuldigen op deze gewasresten, waardoor ze een bedreiging vormen voor het kiemende gewas in de volgende teelt. Wachttijden variëren van 8-22 dagen.

Voorbeelden uit de literatuur zijn:

- Rogge inwerken 8 dagen of korter voor de zaai van maïs bevorderde aantasting door *Pythium ultimum* (Acharya et al., 2017).

⁷ Daarnaast leidt vruchtwisseling vaak ook tot vermindering van het optreden van bladschimmels.

- *Pythium* trad sterker op in aardbei na inbrengen van verse gewasresten van tarwe⁸ in vergelijking met inbrengen van stro (Manici et al., 2004).
- Meer *Rhizoctonia solani* in gerst (Smiley et al., 1992) en ui (Sharma-Poudyal et al., 2016) als snel gezaaid werd na inbrengen van met glyfosaat doodgespoten wintertarwe (Smiley et al., 1992).

Veel onderzoek is gedaan naar de teelt van cruciferen met een hoog gehalte aan glucosinolaten (Dutta et al., 2019). Na onderwerpen en verhakselen van deze cruciferen worden gedurende de microbiële afbraak van het plantenmateriaal de aanwezige glucosinolaten omgevormd in isothiocyanaten, waar sommige bodempathogenen gevoelig voor zijn. Deze methode wordt biofumigatie genoemd.

Potproeven hebben weliswaar veelbelovende resultaten laten zien, maar die zijn in Nederland niet waargemaakt in veldproeven (Vervoort, 2014; van Os, 2016). Ook Njoroge et al. (2008; VS) konden geen consistente effecten vinden in veldexperimenten. In Italië worden evenwel positieve effecten behaald met biofumigatiegewassen*^B. Redenen die deze variatie in effectiviteit zouden kunnen verklaren kunnen zijn: het verschil in klimaat, de homogene verdeling van gewasresten na handmatig in de grond brengen in potproeven die in het veld lastig te reproduceren is, de variatie van het gehalte van glucosinolaten in planten als functie van hun ontwikkelingsstadium en variatie in bodemeigenschappen in het veld (bv. vochtgehalte), wat de diffusie van isothiocyanaten beïnvloedt. Vervoort et al. (2014) konden geen effecten aantonen en berekenden dat de isothiocyanaat-concentraties veel te laag zijn om effectief te kunnen zijn. Ook is problematisch dat mogelijke kandidaten met een verhoogd perspectief voor biofumigatie andere pathogenen kunnen vermeerderen (van Os et al., 2016). In de brochure biofumigatie is meer informatie te vinden (van Os, 2016).

Op basis van veldproeven in Maine (noordoosten van de VS, enigszins vergelijkbaar klimaat met Nederland) concludeert Larkin (2013) dat resultaten met cruciferen-groenbemesters weliswaar variëren, maar dat de resultaten gemiddeld positief zijn (Tabel 3) en dat vanwege het gemak waarmee groenbemesters in de praktijk toe te passen zijn, het onderzoek hiernaar moet worden voortgezet. Overigens zijn het niet per se alleen cruciferen-groenbemesters die ziekteverende effecten induceren (Larkin & Griffin, 2007). Zo wordt na inwerken van Soedangras blauwzuur gevormd, wat in principe verschillende pathogenen kan doden⁹. Hierbij moet dan wel bedacht worden dat Soedangras *Pratylenchus penetrans* zeer sterk kan vermenigvuldigen, waardoor op zandgronden het middel al snel erger wordt dan de kwaal. De toepassing van zaadmeel van gewassen die ziekte-onderdrukkend kunnen zijn, staat beschreven in par. 1.3.2.

Tabel 3 Samenvatting van effecten van cruciferen-groenbemesters in veldproeven in Maine (VS) in aardappel (Larkin, 2013).

Parameter	# veldproeven	% proeven met sign. positief effect	effecten (%) op ziekte ¹
knolopbrengst	60	52	+38 tot -6
<i>Rhizoctonia solani</i> AG 3 (lakschurft)	60	70	+20 tot -100
<i>Streptomyces scabies</i> (gewone schurft)	54	41	+25 tot -45
<i>Spongospora subterranea</i> (poederschurft)	13	46	0 tot -45
<i>Helminthosporium solani</i> (zilverschurft) ²	4	75	+5 tot -42
<i>Verticillium dahliae</i> (verticillium)	3	100	-8 tot -30

¹ Effecten: waargenomen minimum- en maximumeffecten worden weergegeven; bij knolopbrengst: positief betekent meer, negatief minder opbrengst; bij pathogenen: positief betekent meer, negatief minder ziekte.

² Zilverschurft wordt in dit rapport verder niet behandeld.

Op de "gouden regel" van vruchtwisseling zijn er twee uitzonderingen waarin continueelt wél ziekteverendheid oplevert: op klei verlaagt het continu telen van tarwe na verloop van jaren schade door de *Gaeumannomyces graminis* (tarwehalmdoder) (Gerlagh, 1968) en continueelt van bloemkool vermindert schade door *Rhizoctonia solani* AG 2-1 (Postma et al., 2010). Deze maatregelen werken evenwel alleen als zo'n grond geen andere bodempathogenen bevat. Maar dit zijn uitzonderingen,

⁸ Het inwerken van verse gewasresten van tarwe gebeurt weliswaar niet in de praktijk, maar wat dit onderzoek zegt, is dat het inwerken van verse gewasresten gevaarlijk kan zijn als *Pythium* aanwezig is.

⁹ Grote effecten werden echter niet waargenomen, zeker niet in het veld. Daarom wordt hier niet verder op ingegaan.

continueert is daarom niet aan te raden. Er is in wetenschappelijk onderzoek wel vaak geprobeerd om door zo'n continueert een ziekteverende grond te krijgen met de hypothese dat als de grond maar voldoende en langdurig besmet is er spontaan antagonisten komen, maar dit heeft voor de praktijk geen bruikbare resultaten opgeleverd. Wel is dit een interessante methode om potentiële nieuwe biologische bestrijders te isoleren.

1.3.2 Organische-stof toevoegingen

Naast grondbewerking (par. 1.3.4) is het toedienen van organische stof aan de bodem een van de belangrijkste manieren om het bodemmilieu te beïnvloeden. Mits voldoende materiaal wordt aangewend kan het zowel de bodemstructuur, de bodemchemie als het bodemleven sterk beïnvloeden (Van Iperen, 2018). De gedachte hierachter is dat de organische stof een voedselbron is voor het bodemleven, zodat dit actiever wordt. Dit actievere bodemleven kan dan pathogenen beter onderdrukken. Veel onderzoek daartoe is uitgevoerd met potgrond. Dit medium kan vrij gemakkelijk aanmerkelijk ziekteverender gemaakt worden door toediening van compost (Termorshuizen et al., 2006). Zulke resultaten met potgrond zijn echter niet relevant voor veldgrond, omdat:

- de compostaanwendingen in potgrond in de grootte-orde van 20% zijn, wat onhaalbaar is voor akkergrond (20% komt overeen met grofweg 500 ton/ha).
- het bodemleven van akkerbouwgrond al veel rijker is dan dat van potgrond, zodat een eventueel effect van compost in akkerbouwgrond sowieso geringer is dan in potgrond.

De kunst is om dusdanige vormen van organische stof toe te dienen dat de omstandigheden voor bodempathogenen worden verslechterd. Hoewel in het algemeen vaker wel dan niet verhoging van de ziekteverendheid van de bodem wordt verkregen met organische-stof toevoegingen (Bonanomi et al., 2007ab, 2010), is het niet zo dat hiermee een gevestigd bodempathogeen voorspelbaar kan worden bestreden. Het is bovendien helaas ook mogelijk om met bepaalde vormen van organische stof bodempathogenen te stimuleren. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door het inbrengen van verse gewasresten (zie par. 1.3.1) of te jonge compost. Thoden et al. (2011) meldden dat plantparasitaire aaltjes kunnen worden bevorderd door een verbeterde bodemstructuur ten gevolge van de organische-stofaanwending. Het mechanisme hierachter is dat aanwending van organische stof leidt tot verbeterde wortelgroei, wat bij vatbare planten kan leiden tot verhoogde vermeerdering van aaltjes.

Effecten van aanwending van organische stof zullen eerder gevonden worden in gronden met een laag organische-stofgehalte. Maar ook dan zullen forse hoeveelheden noodzakelijk zijn, temeer daar een deel van de aangewende organische stof gewoonlijk snel afbreekt. Voor zover het doel is om het organische-stofgehalte van de bodem te verhogen zal vooral gekeken worden naar de stabiliteit van organische stof, die wordt uitgedrukt als effectieve organische stof (eOS). Dit is de hoeveelheid organische stof die een jaar na toediening nog niet is afgebroken. Van een reeks aan organische meststoffen is recent een inschatting gemaakt van het eOS-gehalte (van Geel et al., 2019). Het is echter niet zo dat de eOS leidend is voor effecten op ziekteverendheid, aangezien alleen het afbreekbare deel van de organische stof een voedselbron is voor het bodemleven.¹⁰

Het EC-gehalte van de organische stof kan belangrijk zijn. Als dit leidt tot suboptimale groeiomstandigheden voor het gewas dan kan de situatie bij toenemende hoeveelheden organische stof gaan van ziekteverendheid naar ziektestimulering. Dit leek het geval voor *Phytophthora capsici* in paprika, waarbij compost bij 48 ton/ha ziekteverend was, maar bij 72 ton/ha ziektestimulerend (Noble & Coventry, 2005). Het omgekeerde kan ook voorkomen, als het gewas minder gevoelig is voor een hoog EC-gehalte dan het pathogeen. Dit is gemeld voor *Fusarium oxysporum* f.sp. *asparagi* in asperge (Elmer, 2002).

¹⁰ Nogal eens zijn conclusies van onderzoek niet praktisch toepasbaar. Hier een voorbeeld van werk van Cesarano et al. (2017, "Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility and microbiome composition"). Op het eerste gezicht lijken de resultaten aan te geven dat het goed is om kunstmest te vervangen door organische stof van plantaardige of dierlijke herkomst. De onderzoekers vonden namelijk grote effecten van het gedurende 6 jaar vervangen van kunstmest door organische stof van alfalfa, compost of dierlijke mest op het organische-stofgehalte en op diverse componenten van het bodemleven in veldgrond. Echter, de gewasopbrengsten van het gewas (rucola) waren in de behandelingen zonder kunstmest meer dan gehalveerd. In een voor de praktijk relevante studie zouden de behandelingen zo moeten zijn ingesteld dat de opbrengsten overall min of meer gelijk waren geweest.

Effecten van organische-stofaanwendingen zijn lastig te voorspellen, mede omdat organische stof lastig te karakteriseren is. Toepassing van ¹³C-CPMAS NMR met als doel de ziekteverende eigenschappen van organische stoffen te voorspellen staat in hernieuwde belangstelling (Bonanomi et al., 2017, 2018). Deze en mogelijk ook andere, nieuwe technieken om organische stof te karakteriseren in relatie tot hun ziekteverende eigenschappen zijn wellicht interessant^{*C}. Een lastig punt bij dit type onderzoek is dat door de microbiologische activiteit in de bodem de organische-stofsamenstelling altijd verandert in de tijd.

Onderscheid wordt gemaakt tussen specifieke vormen van organische stof en niet-specifieke vormen. Specifieke organische stof bestaat uit bepaalde, duidelijk gedefinieerde stoffen, zoals chitine en lignine. Niet-specifieke organische stof bestaat uit mengsels van vele verschillende soorten organische stof die veelal niet nauwkeurig bekend zijn; compost is hiervan het meest toegepaste voorbeeld. Mechanismen van effecten van organische-stofaanwendingen op nematoden zijn samengevat door Oka (2010).

Niet-specifieke organische stof

Compost is de meest toegepaste vorm van niet-specifieke organische stof. Onder compost wordt in Nederland verstaan materiaal dat aeroob door een thermofiele fase is heengegaan. Bij het lezen van buitenlandse literatuur moet worden opgepast omdat daar ook dierlijke mest met de term compost kan worden aangeduid. Ook is in het buitenland veel onderzoek gedaan naar gecomposteerd rioolslib; dit is niet meegenomen in dit literatuuronderzoek omdat toepassing hiervan in Nederland niet is toegestaan. Veruit het meeste onderzoek naar de ziekteverendheid van compost is uitgevoerd in veensubstraten (bv. Pane et al., 2011; Termorshuizen et al., 2006; Postma & Nijhuis, 2019). In substraat leidt toepassing van compost veel makkelijker tot ziekteverendheid vanwege de hoge doses die kunnen worden toegepast en het beperkte bodemleven in het substraat. Compost lijkt met name een effect te hebben op de microbiële gemeenschap in de bodem; het effect van in de compost aanwezige micro-organismen lijkt beperkt te zijn (Saison et al., 2006). Onderzoek aan toepassing van compost met veldgrond wordt vaak uitgevoerd onder minder relevante condities, zoals in een kas of met gesteriliseerde grond. Vooral dit laatste levert resultaten op die weinig zeggen over de werking onder praktijkcondities. Ook wordt in veel veldstudies buitengewoon veel compost toegediend. In een groot review van Noble & Coventry (2005) over ziekteverendheid van compost wordt in 8 van de 18 aangehaalde veldstudies in de vollegrond meer dan 40 ton/ha toegepast, soms zelfs tot 600 ton/ha (Lumsden et al., 1983). Desondanks is het niet zo dat meer compost direct leidt tot meer ziekteonderdrukking: dit hangt af van het type compost en vooral van het soort pathogeen dat onderzocht is. In dit literatuuronderzoek zijn giften hoger dan 40 ton/ha/jr in het algemeen niet meegenomen. Het staat vast dat het type compost (bv. groencompost, GFT-compost, schorscompost) de ziekteverendheid tegen een aantal bodempathogenen beïnvloedt, maar hoe dit op een voorspelbare manier gemeten kan worden is onbekend^{*C}.

Compostthee is een extract van compost. Het wordt gebruikt zowel tegen bodempathogenen als tegen bovengrondse pathogenen (Martin, 2014). Er zijn weinig goed gecontroleerde veldproeven mee gedaan. Larkin (2008) vond in veldproeven met o.a. 2000 liter/ha van beluchte compostthee interessante effecten op *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft) en *Streptomyces scabies* (gewone schurft) in aardappel in een vruchtwisseling met gerst en raaigras, maar niet in een vruchtwisseling met gerst en klaver. De resultaten geven aan dat er met compostthee in principe wel veranderingen ten aanzien van ziektevering in de bodem mogelijk zijn. Hierbij moet nog wel worden aangemerkt dat de door Larkin (2008) toegepaste compostthee een erg hoge hoeveelheid aan micro-organismen had: er werden 10⁸ (honderd miljoen) bacteriën per gram veldgrond (bouwvoor) aangebracht.

Over het algemeen worden geen ziekteverende effecten gevonden van toepassingen van dierlijke mest. Zo vonden D'Hose et al. (2016) in een veldexperiment meer *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft) op knollen van aardappel en meer *Dickeya solani* (zwartbenigheid)¹¹. Kimpinski et al. (2003) pasten gedurende 7 jaar 12 ton/ha mest toe in een veldexperiment, maar vonden stimulering van *Pratylenchus penetrans* (wortelstiepaaltje) en *Heterodera trifolii* (klavercysteaaltje) en geen effect op *Meloidogyne hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje). Dat er weinig tot geen effecten worden

¹¹ Dit pathogeen wordt in dit rapport niet verder behandeld.

gevonden komt waarschijnlijk vooral doordat het organische-stofgehalte in dierlijke mest relatief gering is en bovendien waarschijnlijk maar ten dele beschikbaar is voor het bodemleven.

Meer brede effecten van compost en dierlijke mest in de Nederlandse akkerbouw worden besproken in Koopmans & Bloem (2018). Een conclusie is dat veranderingen in bodemleven langzaam verlopen.

Specifieke organische stoffen

- Chitine, aanwezig in de harde delen van o.a. garnalen, krabben en insecten, leidt in een aantal gevallen tot verhoging van de ziektevering door stimulering van het specifieke bodemleven, met name bacteriën en schimmels die chitine kunnen afbreken met behulp van chitinolytische enzymen. De hypothese is dat dergelijke organismen dan ook schimmelpathogenen en aaltjes, die beiden chitine in hun wand hebben, kunnen verzwakken. Sommige resultaten zijn veelbelovend, maar de toepassing is kostbaar (ca. € 10.000 per ton). Chitosan is chemisch bewerkte chitine (geacetyleerde chitine) dat als plantversterker wordt toegepast en ook als in water oplosbaar product beschikbaar is. Dit wordt veelal bovengronds toegepast.
- Meel uit slachtafval¹²: o.a. hoef-, veren-, vlees- en vismeel (ca. € 1.000 per ton). Ziekteverende effecten hiervan zijn aangetoond (Postma & Schilder, 2015; Abbasi et al., 2013); het mechanisme is niet bekend, maar veranderingen in het bodemleven ten gevolge van deze toepassingen zijn aangetoond (o.a. Abbasi, 2013). Bij grotere hoeveelheden kan ook de vorming van toxische organische vetzuren een rol spelen.
- Inwerken van meel van specifieke planten. Met name zaadmeel van cruciferen is veel onderzocht. Hetzelfde wordt beoogd als bij de teelt van specifieke cruciferen (par. 1.3.1), namelijk vorming van voor bodempathogenen toxische isothiocyaten tijdens de microbiële decompositie van het meel. In Nederland werd in een veldexperiment gevonden dat 7 ton/ha zaadmeel van Sareptamosterd (*Brassica juncea*) en Ethiopische mosterd (*B. carinata*) leidde tot een afname van 35-80% van *Verticillium dahliae* (verticillium), maar niet tot een afname van *Pratylenchus penetrans* (wortelziekaaltje) (van Os, 2016). Een dergelijke hoge dosis is te duur (kosten minimaal € 1.500 per ton zaadmeel) en bovendien wordt er relatief veel stikstof aangevoerd, ca. 60 ton N per ton zaadmeel (van Os, 2016). Yu et al. (2007) vonden in het veld een beperkt effect van 1120 kg/ha zemelen van Sareptamosterd tegen *Pratylenchus penetrans* in één jaar en in een ander jaar niet. Wei et al. (2016) rapporteerden effecten van diverse specifieke stoffen afkomstig van planten op *Verticillium dahliae*: naast zaadmeel van cruciferen werden een terpeenhoudend product, geïsoleerd uit lavendel, gebruikt en een digestaat. Gerapporteerde effecten van zaadmeel in de literatuur kunnen niet alleen worden toegeschreven aan onrealistisch hoge toepassingen, ook het pasteuriseren of steriliseren van grond kan effecten versterken (bv. Curto et al., 2016). Şimşek Erşahin et al. (2014) vonden bij bepaalde concentraties van zaadmeel van *Limnanthes alba* onderdrukking van *Meloidogyne hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje), maar stimulering van *Pythium irregulare* (omvalziekte en wortelrot). Het lijkt logisch om te verwachten dat effectievere soorten zaadmeel beschikbaar komen. Al met al lijkt er wel toekomst te zijn voor de toepassing van zaadmeel, maar is die nog niet praktijkrijp. Een open vraag is vanaf wanneer een bepaalde stof gezien zou moeten worden als bestrijdingsmiddel.
- Biochar (gepyrolyseerde organische stof). Bonanomi et al. (2015) noemde in een review de toepassing van biochar tegen bodempathogenen veelbelovend, maar te weinig onderzocht. Van de in dit rapport behandelde pathogenen werden ziekte-onderdrukkende effecten gevonden op *Pythium* (omvalziekte en wortelrot) in tomaat. Copley et al. (2015) rapporteren echter stimulering van aantasting door *Rhizoctonia solani* (omvalziekte) bij 9 waardplanten in potgrond bij toepassing van 75-125 ton/ha biochar gemaakt van bast van esdoorn. Van belang voor de kwaliteit van de biochar is zowel het uitgangsmateriaal (waarvan het is gemaakt) en de pyrolyseringstemperatuur (Bonanomi et al., 2015; Marra et al., 2018). Ook fytotoxische effecten op gewassen zijn gerapporteerd (Mumme et al., 2018) en het bodemleven wordt soms negatief beïnvloed (Liu et al., 2017), soms echter ook positief. Voor agro-ecosystemen die in dit literatuuronderzoek aan de orde zijn, zijn voor zover bekend nog geen effecten van biochar gerapporteerd*^D. Momenteel lijkt het erop dat er twee hoofdtoepassingen gezien worden voor biochar: bioremediatie van verontreinigde gronden en koolstofvastlegging. Het is momenteel nog onduidelijk wat biochar zou kunnen betekenen voor de Nederlandse akkerbouw. Bij praktijktoepassing van biochar moet verder worden

¹² Deze reststromen dienen te worden verhit voorafgaand aan toepassing.

bedacht dat áls biochar negatieve effecten heeft op de plantengroei en/of het bodemleven, dat deze dan vervolgens lastig zijn weg te nemen gezien de hoge persistente van biochar in de bodem (100 jaar of langer).

- Cellulose is o.a. een reststroom van de papierindustrie. Reeds in 1985 werd melding gemaakt van het vermogen van cellulosepoeder om de aantasting door *Rhizoctonia solani* in bloemkool te verminderen (Kundu & Nandi, 1985). Ook in Nederlands onderzoek is aangetoond dat papiercellulose (4 g per kg akkerbouwgrond) bodemweerbaarheid tegen *Rhizoctonia solani* AG 2-1 kan verhogen in kasproeven waarbij de ziekteverwekker werd toegevoegd. Het effect van cellulose is ook in een veldproef getest met natuurlijk aanwezige infectie (Westerdijk et al., 2003). Hier werd slechts een beperkt positief effect gevonden als papiercellulose 2 maanden voorafgaand aan het planten werd toegevoegd, maar toevoeging vlak voor planten gaf juist meer aantasting. Bij toevoegen van cellulose enkele weken voor de teelt van een gewas moet extra stikstof worden toegevoegd omdat door afbraak van cellulose stikstof in de bodem geïmmobiliseerd wordt. In nu lopend onderzoek naar het effect van saprofytische schimmels op bodemweerbaarheid (STW-project Sapro-Feed) blijkt papiercellulose de hoeveelheid schimmelbiomassa sterk te stimuleren en zijn er wederom positieve effecten op bodemweerbaarheid tegen *Rhizoctonia solani* gemeten, waarbij de incubatieduur relevant is. Papiercellulose wordt in Nederland ook wel toegepast als preventie tegen winderosie en is relatief goedkoop (9 €/ton). Een hypothese voor het ziekteverwerende effect dat cellulosehoudende producten genereren, is dat het een toename van saprofytische schimmels genereert, die op hun beurt weer het aantal antagonistische bacteriën stimuleren (de Boer et al., 2015).
- Lignine. Ziekteverwerende effecten in het veld zijn gevonden, bv. tegen *Rhizoctonia solani* AG 1-1B (van Beneden et al., 2010). Een deel hiervan wordt wellicht verklaard doordat sommige antagonisten hierdoor worden gestimuleerd, zoals gerapporteerd van *Coniothyrium minitans* CON/M/91-8 (Contans) tegen *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte). Ook composten met meer lignine zijn meestal meer ziekteverwerend (Hoitink et al., 1997; Stone et al., 2004)*^E.

Bij specifieke toepassingen kan, afhankelijk van de gebruikte hoeveelheden en het gewas, fytotoxiciteit optreden. Dit kan van belang zijn als een geconcentreerde toepassing in de bouwvoor wordt overwogen. Fytotoxiciteit kan een functie zijn van het organische-stofgehalte in de bodem. Zo vonden Postma et al. (2016) meer fytotoxiciteit in zand dan in zand met 10% potgrond. In deze laatste trad fytotoxiciteit op bij 1% verenmeel en hoefmeel, maar niet bij 0,3%. In puur zand trad fytotoxiciteit al op bij 0,3%.

Onrealistische toepassingen van organische stof

Met name de groep van Lazarovits (Canada) heeft veel veldexperimenten gedaan met stikstofrijke vormen van organische stof, zoals vloeibare mest, vismeel en sojabonenmeel. Als hiervan grote hoeveelheden werden toegediend (Lazarovits paste hoeveelheden toe in de grootte-orde van 40-70 ton/ha) werden allerlei bodempathogenen afgedood. Dit werd veroorzaakt door vorming van ammoniak (NH₃), waterstofnitriet (HNO₂) en organische vetzuren (met name azijnzuur, propionzuur en boterzuur) (o.a. Lazarovits et al., 2005). Er is aan deze drastische methode in dit rapport geen aandacht besteed vanwege de grote hoeveelheden die nodig zijn om effecten te bereiken. Bij dit type stikstofrijke producten leidt dit tot grote stikstofverliezen in de bodem en de atmosfeer, die ongewenst zijn. Bovendien passen deze maatregelen niet in de stikstofwetgeving.

1.3.3 Biologische bestrijding

Er is en wordt veel onderzoek gedaan aan biologische bestrijding van bodempathogenen, maar nog steeds zijn er weinig middelen beschikbaar (Tabel 4). Momenteel zijn er 11 antagonisten geregistreerd in Nederland, en 6 in andere EU-lidstaten. Van in Nederland toegelaten middelen zijn er 7 toegelaten voor gebruik in de vollegrond. Voor *Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje), *Heterodera schachtii* (wit bietencysteaaaltje), *Meloidogyne* (wortelknobbelaaltjes), *Pratylenchus* (lesieaaltjes), *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot), *P. violae* (cavity spot), *Rhizoctonia solani* (o.a. omvalziekte en lakschurft) en *Sclerotinia* (rattenkeutelziekte) zijn biologische middelen verkrijgbaar (Tabel 5). Binnen de EU, maar vooral wereldwijd, zijn er veel meer middelen beschikbaar (van Lenteren et al., 2018).

Veel biologische bestrijders zijn afkomstig uit onderzoek aan ziekteverende gronden (Gómez-Exposito et al., 2017). Veel onderzoek is ook gedaan aan gronden die ziekteverend zijn tegen de tarwehalmdoder (*Gaeumannomyces graminis*) en aan een tegen *Fusarium oxysporum* ziekteverende grond in Frankrijk, maar zijn de hier voor verantwoordelijke micro-organismen, o.a. DAPG (een bepaald toxine)-producerende *Pseudomonas fluorescens* en de antagonist *Fusarium oxysporum* Fo47, nog niet op de markt gebracht. Ook de mycoparasiet *Verticillium biguttatum*, die veel in Nederlandse gronden voorkomt en die ziekteverend is tegen *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft) in aardappel (Jager & Velvis, 1988) is niet als biologische bestrijder op de markt. Naast hoge kosten die toelating met zich meebrengt is een belangrijke factor dat de mate waarin deze antagonisten aanslaan op andere bodems dan waarvan ze geïsoleerd zijn, sterk varieert (Kinkel et al., 2012).

Over de werkzaamheid van de toegelaten middelen in de praktijk van de vollegrond is verrassend weinig informatie beschikbaar*^F. Informatie die wel beschikbaar is heeft meestal betrekking op de bedekte teelten. Hier zijn de omstandigheden meestal gunstiger voor ontwikkeling van toegediende antagonisten vanwege het meer stuurbare en meer constante klimaat. Maar ook hier zijn de effecten nogal eens beperkt. Ook worden soms plantengroei remmende effecten waargenomen (McGehee et al., 2019). In de vollegrond zijn de omstandigheden voor biologische bestrijders lastiger: in tegenstelling tot substraat is het bodemleven in grond veel diverser en is het voedselweb complexer, waardoor de toegediende antagonisten het moeilijker zullen hebben om aan te slaan. Ook de meer variabele omstandigheden in de grond en de lagere bodemtemperaturen in de lente kunnen problematisch zijn (Kinkel et al., 2012). Detecteerbaarheid van de toegediende biologische bestrijders geeft inzicht in de overleving na toediening.

1.3.4 Grondbewerking

Momenteel staat niet-kerende of minimale/gereduceerde grondbewerking sterk in de belangstelling vanwege gunstige effecten op het bodemleven (minder verstoring) en klimaateffecten (minder CO₂-emissies). Door het omwoelen van de bodem wordt er namelijk meer organische stof afgebroken. De effecten van grondbewerking kunnen variëren:

- kerende grondbewerking wordt soms toegepast om een met bodempathogenen besmette bovenlaag weg te werken. Hoewel dit de bodempathogenen niet bestrijdt, kan dit gedurende één of enkele jaren wel een effectieve maatregel zijn. Het leidt tot lagere organische-stofgehalten in de bovengrond, wat gevolgen kan hebben voor de ziekteverende eigenschappen van de toplaag van de bodem.
- gewasresten met bodempathogenen kunnen, als ze niet ingewerkt worden in de grond, verwaaien naar andere percelen. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren met stengels die bezet zijn met microsclerotien van *Verticillium dahliae* (verwelkingsziekte).
- bovengrondse pathogenen overleven beter op gewasresten als ze niet in de grond gebracht worden.

Uit lange-termijn systeemonderzoek te Lelystad (experiment Basis) blijkt dat niet-kerende grondbewerking een actiever bodemleven levert, maar de effecten op bodempathogenen zijn minder eenduidig. Er was geen effect op ziektevering van de bodem tegen *Streptomyces scabies* (gewone schurft) en een wisselend effect op *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB (wortelrot; Postma et al., niet gepubliceerd). Een biotoets met tuinkers toonde aan dat grond uit niet-kerende behandelingen weerbaarder is tegen *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot) (Bongiorno et al., 2019; Postma et al., niet gepubliceerd).

Overigens staat buiten kijf dat een gezonde bodemstructuur van cruciaal belang is voor het weerbaarder maken van bodems tegen bepaalde pathogenen. Het tegengaan van natte gronden is gunstig om schade door o.a. *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot) en *Spongospora subterranea* (poederschurft) in te perken. Bovendien kan een slechte bodemstructuur een gewas zoveel stress geven dat hun vatbaarheid voor pathogenen verhoogd wordt, zoals het geval is bij peulvruchten (zie par. 3.6).

Tabel 4 In Nederland of andere EU-lidstaten toegelaten biologische bestrijders tegen bodempathogenen. Bron: CTGB, EU Pesticides Database; websites geraadpleegd oktober 2019. Voor uitgebreide informatie over toelatingen, zie www.ctgb.nl.

organisme	toegelaten in Nederland	naam middel	gewas ⁸	andere gewassen	pathogenen in deze studie	andere bodempathogenen
<i>Bacillus amoliquefaciens</i> ¹ QST713	ja	Serenade, Texio	aardappelen, peen, suikerbiet, wortelen	vele	<i>Pythium</i> , <i>Pythium violae</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Helminthosporium solani</i>
<i>Bacillus firmus</i> I-1582	ja	VOTIVO	biet	mais	<i>Ditylenchus dipsaci</i> , <i>Heterodera schachtii</i> (biet), <i>Pratylenchus</i> (mais)	
<i>Coniothyrium minitans</i> CON/M/91-8	ja	Contans	vele	vele	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>S. minor</i>	
<i>Gladiolium catenulatum</i> ² J1446	ja	Prestop	-	bedekte teelten: vele, w.o. wortelen	wortelziekten: <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Fusarium</i> ⁴ , <i>Phytophthora</i>
<i>Paecilomyces lilacinus</i> ³ 251	nee	PBP	aardappel, peen	o.a. sla, seiderij, tomaat	aardappel: <i>Globodera</i> , <i>Pratylenchus</i> ; wortelen: <i>Meloidogyne</i>	
<i>Pasteuria nishizawae</i> Pn1	nee	Clariva	suikerbiet	-	<i>Heterodera schachtii</i>	
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	nee	Rotstop	-	den, spar	<i>Heterobasidion annosum</i> , <i>H. parviporum</i>	
<i>Pseudomonas chlororaphis</i> MA342	ja	CERALL	rogge, tarwe	-	-	<i>Monographella nivalls</i> ⁵
<i>Pseudomonas chlororaphis</i> MA342	ja	Cedress	peen	-	-	<i>Pseudocercosporidium carotae</i> ⁶
<i>Pseudomonas</i> sp. stam DSMZ 13134	ja	Proradix Agro	aardappelen	-	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Helminthosporium solani</i>
<i>Pythium oligandrum</i> M1 ⁷	nee	Polyversum	koolzaad	-	<i>Plenodomus lingam</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
<i>Streptomyces griseoviridis</i> K61	ja	MYCOSTOP	-	bedekte teelten: vele	<i>Pythium</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Streptomyces lydicus</i> WYEC108	nee	ACTINOVATE	groenten, bloembollen	sierplanten	vele bodemschimmels	
<i>Trichoderma asperellum</i> ICC012 & <i>T. gamsii</i> ICC080	ja	TELLUS	-	bedekte teelten: vele	<i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Verticillium dahliae</i>	<i>Fusarium</i>
<i>Trichoderma asperellum</i> T25 & TV1	nee	VRISAN, REMEDIER	-	tomaat, paprika, komkommer, courgette	vele bodemschimmels	
<i>Trichoderma asperellum</i> T34	ja	ASPERELLO T34 Biocontrol	-	bedekte teelten: anjer, Solanaceae- vruchtgroenten	<i>Pythium</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>dianthi</i>
<i>Trichoderma harzianum</i> T22	ja	Trianium-P, Trianium-G	vele	vele	<i>Pythium</i> spp., <i>Rhizoctonia</i> spp.	<i>Fusarium</i> spp.

¹ = *Bacillus subtilis*, ² = *Clonostachys rosea*, ³ = *Purpureocillium lilacinus*, ⁴ = *Fusarium nivale*, ⁵ = *Fusarium nivale*, ⁶ = *Acrothecium carotae*.

⁷ Activiteit van *Pythium oligandrum* M1 tegen allerlei andere pathogene bodemschimmels is aangetoond (Gerbore et al., 2014).

⁸ Gewassen in dit rapport (Tabel 1).

Tabel 5 Pathogenen in deze studie waarvoor biologische bestrijding beschikbaar is. Voor details, zie Tabel 4. Voor uitgebreide informatie over toelatingen, zie www.ctgb.nl.

pathogenen in deze studie	biologische bestrijder ¹
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	<u>Bacillus firmus I-1582/VOTIVO</u>
<i>Globodera</i>	<i>Paecilomyces lilacinus</i> 251/PBP
<i>Heterodera schachtii</i>	<u>Bacillus firmus I-1582/VOTIVO</u> <i>Pasteuria nishizawae</i> Pn1/Clariva
<i>Meloidogyne</i>	<i>Paecilomyces lilacinus</i> 251/PBP
<i>Plenodomus lingam</i>	<i>Pythium oligandrum</i> M1/Polyversum
<i>Pratylenchus</i>	<i>Paecilomyces lilacinus</i> 251/PBP <u>Bacillus firmus I-1582/VOTIVO</u>
<i>Pythium ultimum</i> groep	<u>Bacillus amoliquefaciens QST713/Serenade</u> <i>Gliocladium catenulatum</i> J1446/Prestop <u>Trichoderma asperellum ICC012 & T. gamsii ICC080/Tellus</u> <u>Trichoderma asperellum T34/ASPERELLO T34 Biocontrol</u> <u>Trichoderma harzianum T22/Trianum-P,-G</u>
<i>Pythium violae</i>	<u>Bacillus amoliquefaciens QST713/Texio</u>
<i>Rhizoctonia solani</i>	<u>Bacillus amoliquefaciens QST713/Serenade</u> <i>Gliocladium catenulatum</i> J1446/Prestop <u>Pseudomonas sp. stam DSMZ 13134/Proradix Agro</u> <u>Trichoderma asperellum ICC012 & T. gamsii ICC080/Tellus</u> <u>Trichoderma harzianum T22/Trianum-P,-G</u>
<i>Sclerotinia minor</i>	<u>Coniothyrium minitans CON/M/91-8/Contans</u>
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<u>Bacillus amyloliquefaciens QST713/Serenade</u> <u>Coniothyrium minitans CON/M/91-8/Contans</u> <i>Pythium oligandrum</i> M1/Polyversum <u>Trichoderma asperellum ICC012 & T. gamsii ICC080/Tellus</u>
<i>Verticillium dahliae</i>	<u>Trichoderma asperellum ICC012 & T. gamsii ICC080/Tellus</u>
niet-gespecificeerd ³	<i>Streptomyces lydicus</i> WYEC108/ACTINOVATE <i>Trichoderma asperellum</i> T25 & TV1/VIRISAN, REMEDIER

¹ Toegelaten: [vet en onderstreept:] **in Nederland in de vollegrond**; [alleen vet:] **in Nederland in bedekte teelten**; [niet vet:] niet in Nederland (wel in andere EU-lidstaten).

1.3.5 Zuurgraad van de bodem (pH)

Sommige bodempathogenen treden vooral op bij een bepaalde pH. Dit is van belang vooral bij *Aphanomyces cochlioides* in suikerbiet, *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet) in kool en *Streptomyces scabies* (gewone schurft) in aardappel. Een ander voorbeeld is een grotere schadegevoeligheid van zomergerst en zomertarwe voor het graswortelknobbelaaltje *Meloidogyne naasi*. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door zwakkere wortelontwikkeling van deze granen bij een lagere pH, waardoor de schadegevoeligheid toeneemt. Soms worden wel pH-effecten waargenomen bij andere pathogenen, maar dan gaat het om effecten bij pH-waarden die in Nederland niet worden aangetroffen, of om resultaten van laboratoriumexperimenten.

1.3.6 Zwavel (S)

In sommige onderzoeken naar weerbare bodems is een correlatie gevonden tussen bepaalde elementen zoals zwavel (S) en ziektevering van bijvoorbeeld *Rhizoctonia solani* (lakschurft) in aardappel, hoewel dit resultaat niet consistent was (Hospers et al., 2015). Bekend is dat verschillende zwavelverbindingen een fungicidewerking hebben. Klikocka et al. (2005) toonden een positief effect in experimenten met *Rhizoctonia solani* aan bij aardappels na bemesting met zwavel. Andere effecten hebben een relatie met het glucosinolaatgehalte van koolachtigen (zie par. 1.3.1) (Aghajanzadehdivaei, 2015).

Het zwavelgehalte in de Nederlandse bodem is de afgelopen tien jaar sterk afgenomen door verminderde depositie vanuit de lucht. Op kleigronden is de afname gemiddeld 15%, op zandgronden zelfs meer dan 30% in de periode 2005-2015 (Eurofins,

<https://www.gfactueel.nl/Volleggrond/Nieuws/2016/12/Eurofins-constateert-steeds-minder-zwavel-in-de-grond-71362E/>), en daarom wordt er tegenwoordig geadviseerd om bij te bemesten met zwavel.

1.3.7 Overige maatregelen tegen bodempathogenen

- Hygiëne. Zonder enige twijfel zijn hygiënemaatregelen uiterst belangrijk om besmetting te voorkomen. Aangezien veruit de meeste bodempathogenen niet door de lucht verspreid worden blijft hygiëne de allerbelangrijkste preventieve maatregel. Vele, zo niet alle, bodempathogenen gaan mee met aan pootgoed of aan machines hangende grond. Het 'ondankbare' van een goede hygiëne is, dat de effectiviteit ervan alleen af te lezen is van het niet-optreden van een ziekte, terwijl hygiënemaatregelen wel tijd en daardoor geld kosten.
- Anaerobe grondontsmetting (ook wel genoemd biologische grondontsmetting en steeds meer onder de Engelse afkorting ASD, Anaerobic Soil Disinfestation): dit betreft het in de (na)zomer aanwenden van een makkelijk afbreekbare organische stof en het bevochtigen van bodem gevolgd door het afdekken met luchtdicht plastic. Het leidt tot sterfte van een fors aantal bodempathogenen waaronder een aantal aaltjessoorten.
- Inundatie: dit is het onder water zetten van een beperkt water doorlatende bodem. Het leidt tot sterfte van een fors aantal bodempathogenen. Net als bij anaerobe grondontsmetting heeft deze maatregel geen verbetering van de bodemkwaliteit tot gevolg.
- Chemische bestrijding: zeker via behandeling van zaad- en pootgoed zijn chemische middelen verkrijgbaar tegen bepaalde bodempathogenen. Hier wordt verder niet op ingegaan omdat in deze literatuurstudie de focus ligt op bodemkwaliteitsverbetering.
- Solarisatie: doding van bodempathogenen door verhitting van bevochtigde bodem. Een populaire maatregel in warmere landen. In Nederland worden onvoldoende hoge temperaturen bereikt.

1.3.8 Biostimulanten en bodemverbeteraars

De definities van biostimulanten en bodemverbeteraars zijn kort geleden beschreven in de Fertilizer Product Regulation (FPR) van de EU, die medio 2022 van kracht wordt. Biostimulanten zijn middelen die één of meer van de volgende eigenschappen hebben op planten: ze verhogen de efficiëntie van voedingsstoffen, verhogen tolerantie tegen abiotische stress, verhogen de kwaliteit van de plant en verhogen de beschikbaarheid van nutriënten. Microbiële biostimulanten behoren tot een van de volgende organismen: met peulvruchten in symbiose levende stikstofbindende bacteriën (*Rhizobium*), vrijlevende stikstofbindende bacteriën (*Azotobacter* en *Azospirillum*) en mycorrhizaschimmels. Volgens de FPR kunnen producenten aan deze lijst nieuwe organismen toevoegen. Bodemverbeteraars zijn middelen die de fysische, chemische of biotische eigenschappen van de bodem verbeteren.

Zowel biostimulanten als bodemverbeteraars mogen geen ziektes bestrijden, omdat, als ze dat zouden doen, ze onder de bestrijdingsmiddelenwet vallen. Biostimulanten en bodemverbeteraars kunnen wel indirecte effecten hebben op pathogenen, bijvoorbeeld door stimulatie van bepaalde bodemorganismen, via verbetering van de resistentie van de plant of het verminderen van stress tegen abiotische factoren zoals droogte. Veel onderzoek komt uit de tuinbouw in de Mediterrane landen; er is niet veel bekend over de werking van biostimulanten in de akkerbouw. In Nederland krijgen mycorrhiza en humuszuren enige aandacht. Compost als bodemverbeteraar komt in par 1.3.2 aan de orde.

Mycorrhiza

Mycorrhizaschimmels zijn bodemschimmels die in symbiose met planten leveren. In de akkerbouw hebben alle gewassen behalve cruciferen (kolen) en suikerbiet mycorrhiza van het type arbusculaire mycorrhiza (Baum et al., 2015). Arbusculaire mycorrhiza's worden op de markt gebracht o.a. als middelen die de nutriëntenefficiëntie verhogen, droogtetolerantie verhogen, en de plant resistenter maken tegen ziekte- en plaagorganismen. Ook is geclaimd dat mycorrhizaschimmels de omgeving van de wortel (de rhizosfeer) dusdanig beïnvloeden dat pathogenen minder makkelijk de wortel kunnen infecteren. Arbusculaire mycorrhiza hebben effect op de water- en fosfaat (P)-voorziening van planten. Effecten zijn vooral te verwachten in gewassen die van nature beperkt zijn in hun wortelontwikkeling. Bij de in dit literatuuronderzoek betrokken gewassen gaat het om aardappel, ui en wortel. Het staat weliswaar vast dat zulke effecten bestaan, de vraag is echter of mycorrhiza's die worden toegepast

een toegevoegd effect hebben ten opzichte van de mycorrhiza's die al in de grond aanwezig zijn. In bodems die hoog zijn in fosfaatk niveau is de ontwikkeling en effectiviteit van arbusculaire mycorrhiza beperkt. De vraag is dan of commerciële preparaten bij de in Nederlandse bestaande hoge P-niveaus wel effecten kunnen hebben. Hijri (2016) vond een toename in aardappelopbrengst van 9,5% als gevolg van toepassing van het product DAOM 197198 met de arbusculaire schimmel *Rhizophagus irregularis*. Helaas werd in het onderzoek geen verband gelegd tussen de effecten en de P-status van de grond, waardoor de resultaten niet goed kunnen worden beoordeeld (zie voor meer details par. 2.2.4 onder *Rhizoctonia solani* AG 3, lakschurft).

Aanwezigheid van mycorrhiza's in Nederlandse akkerbouwpercelen blijkt uit een inventarisatie waarbij de mycorrhizabezetting van uienwortels gemeten is in 19 gangbaar en 20 biologisch beheerde percelen (Galván et al., 2009). De gemiddelde kolonisatie van de wortels was 85%. Er was geen verschil in kolonisatie tussen biologisch en gangbaar geteelde uien, maar per teeltsysteem was er wel een positieve trend tussen kolonisatie en opbrengst. De positieve correlatie tussen opbrengst en mycorrhizakolonisatie in het gangbare systeem geeft aan dat mycorrhiza ook bij gangbare bemestingsniveau's een positieve bijdrage kunnen leveren. Dit geldt dan waarschijnlijk alleen voor gewassen die beperkt zijn in hun wortelontwikkeling, zoals bij uien het geval is.

Humuszuren

Humuszuren is een verzamelbegrip voor diverse zuren die uit organische stof geëxtraheerd worden. Effecten van humuszuren lijken dan ook op die van organische stof: verhoging van de CEC en verbetering van de bodemstructuur en ziektevering. In extract van compost zitten veel humuszuren. In België is een groot veldonderzoek geweest naar effecten van humuszuren (Verlinden et al., 2007). Daarin werd uitsluitend op gronden met laag tot zeer laag organische-stofgehalte een beperkt effect gevonden, maar er is niet gekeken naar effecten op ziekteverendheid van de bodem.

2 Maatregelen tegen bodempathogenen

In dit hoofdstuk worden per plantenpathogeen de maatregelen besproken die vanuit bodemkwaliteit genomen kunnen worden. Er wordt ook stilgestaan bij maatregelen die momenteel in ontwikkeling zijn. Tenslotte worden ook maatregelen genoemd die na onderzoek niet effectief bleken.

De bodempathogenen worden hier ingedeeld in aaltjes (par. 2.1), schimmels (par. 2.2) en overige bodempathogenen (par. 2.3, met oömyceten, protisten en een bacteriesoort).

Per pathogeen worden de waardplantschema's gepresenteerd. Deze dienen als volgt gelezen te worden (zie Tabel 2) (een uitleg is ook te vinden op www.aaltjesschema.nl):

- de kleur geeft informatie over de te verwachten schade (Tabel 2, links);
- de symbolen geven informatie over de vermeerdering (Tabel 2, rechts).

Tabel 2 Legenda bij de vruchtwisselingsschema's.

legenda schade	
	onbekend (0%)
	geen (0-5%)
	weinig (5-15%)
	matig (15-33%)
	sterk (>33%)

legenda vermeerdering	
?	onbekend
--	actieve afname
-	natuurlijke afname
•	weinig toename
••	matige toename
•••	sterke toename
R	rasafhankelijk
i	enige informatie

Voor de gewassen die bij de vruchtwisselingsschema's staan geldt dat als er alleen tarwe, gerst of koolzaad aangegeven wordt, de informatie betrekking heeft op zowel winter- als zomergewas (dus bv. zomer- en wintertarwe).

2.1 Aaltjes

Aaltjes of nematoden zijn minuscule wormpjes die in principe in vocht leven. In grond en water komen in Nederland ongeveer 1200 soorten voor, waarvan ongeveer 100 soorten voor planten schadelijk zijn (plantparasitair). Hiervan is slechts een kwart een probleem voor de landbouw. In een gezonde bodem zitten 30 tot 40 aaltjes per milliliter grond, dat zijn er 4 tot 10 miljoen per vierkante meter bouwvoor. Zijn het er veel minder dan is er iets mis met het milieu. Plantparasitaire aaltjes zijn niet met het blote oog zichtbaar.

De meeste aaltjessoorten zijn de landbouw zeer behulpzaam. Het zijn bacterie-etters, schimmeleters of insectenparasieten. Een klein aantal soorten behoort tot de plantparasieten. Dat is op zich geen punt zolang hun aantal maar niet te hoog oploopt. Alleen bij hoge aantallen ontstaan er voor de landbouw problemen. Het type probleem en de oplossing ervan is zeer afhankelijk van de aaltjessoort en het gewas waarin het zich voordoet. Inzicht in de levenswijze van de aaltjessoort en de sterke en zwakke punten binnen de levenscyclus maakt een gerichte aanpak van een aaltjesprobleem mogelijk. De groep van de plantparasitaire aaltjes bestaat uit een bonte verzameling die in vorm en levenswijze totaal kunnen verschillen. De plantparasitaire aaltjes hebben allemaal een mondstekel, waarmee ze in staat zijn de wortel aan te prikken en de celinhoud te consumeren.

Afhankelijk van de soort leggen de vrouwtjes 30 tot 500 eieren. Uit het ei komt een larve. Na een aantal vervellingen ontstaat weer een volwassen aaltje waarmee de levenscyclus is voltooid. De tijdsduur die nodig is om een levenscyclus te volbrengen varieert van drie weken tot ruim een jaar.

De meeste soorten volbrengen hun gehele levenscyclus in de grond, uitgezonderd de blad- en stengelaaltjes die de bovengrondse plantdelen aantasten. Er zijn aaltjessoorten, zoals de vrijlevende wortelaaltjes, die de wortel alleen maar aan de buitenkant aanprikken (ectoparasieten). Andere soorten maken een opening in de wortel en gaan naar binnen (endoparasieten). Sommige van deze soorten kunnen in alle levensfasen de wortels in en uit gaan en blijven mobiel (*Pratylenchus*; wortellesieaaltjes). Andere worden immobiel als ze eenmaal binnen zitten en zetten de fysiologie van de plant naar hun hand (cysteaaltjes: *Globodera* en *Heterodera*; wortelknobbelaaltjes: *Meloidogyne*).

Een ander kenmerkend verschil tussen de groepen plantparasitaire aaltjes is hun overlevingsvorm. De minst gespecialiseerde aaltjes leggen eieren los in de grond, die uitkomen zodra er vocht is en de temperatuur hoog genoeg is. De meest gespecialiseerde soorten zijn de cysteaaltjes. Bij de cysteaaltjes blijven de eieren in de verharde huid van het afgestorven vrouwtje zitten. Van de meeste soorten cysteaaltjes komen de eieren pas uit als ze worden gewekt door lokstoffen die waardplanten uitscheiden. Groeien er geen waardplanten, dan kunnen de eieren in de cyste tot 15 jaar overleven. Naast de schade die de aaltjes zelf teweeg brengen, kunnen ze problemen met schimmels en virussen verergeren, omdat ze ingangspoorten creëren bij het aanprikken van de wortels of de hormoonhuishouding van de plant beïnvloeden. Enkele soorten aaltjes fungeren als vector van plantenvirussen.

De waardplantenreeks van plantparasitaire aaltjes kan zeer nauw zijn (bv. *Globodera*, aardappelcysteaaltjes) of zeer breed (bv. *Pratylenchus penetrans*, wortellesieaaltje). Vergeleken met schimmels en schimmelachtigen focussen de huidig beschikbare maatregelen tegen aaltjes voor het overgrote deel op waardplantkeuze. De mate van besmetting van grond door aaltjes kan voor alle soorten worden onderzocht door commerciële laboratoria. Hierdoor zijn preventieve maatregelen wat betreft gewas- en groenbemesterskeuze in principe makkelijk door te voeren.

2.1.1 *Ditylenchus* (destructoraaltje en stengelaaltje)

	<i>Ditylenchus</i>	
	<i>D. destructor</i>	<i>D. dipsaci</i>
	destructoraaltje	stengelaaltje
Akkerbouw		
aardappel	●●●	●●
cichorei	?	–
gerst	–	–
haver	–	●●
koolzaad	–	●
luzerne	–	●●●
maïs	–	●●
rogge	–	●●
suikerbiet	–	?
tarwe	–	●
triticale	–	–
ui	–	●●●
vlas	–	–
Groenten		
aardbei	?	●
erwt	–	●●●
peen	–	●●
prei	–	●
rode biet	–	–
schorseneer	–	–
spinazie	–	–
stamslaboon	–	●●
veld-/tuinboon	–	●●●
witlof	–	–
Bloembollen		
dahlia	●●●	–
gladiool	●●●R	–
lelie	–	–
tulp	●●●R	●●●
Groenbemesters		
bladrammenas	–	?
engels raaigras	–	●
gele mosterd	–	?
italiaans raaigras	–	●
klaver	●●●	●●●

Bron: www.aaltjesschema.nl.



Ditylenchus destructor
in aardappelknol



Ditylenchus dipsaci in ui



Ditylenchus dipsaci in ui



Ditylenchus dipsaci in
biet

***Ditylenchus destructor* (destructoraaltje)**

Destructoraaltje tast de bollen en knollen aan van aardappel, dahlia, gladiool en tulp zonder specifieke ziektesymptomen te veroorzaken. Zonder waardplanten ziekte een besmet perceel in 2 jaar uit. Het is onbekend of cichorei waardplant is*^G.

Maatregelen bodemgezondheid

- Teelt van niet-waardplanten. Klaver is een sterke vermeerderaar.

***Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje)**

Stengelaaltjes zorgen voor veel schade in o.a. aardappel, ui en tulp. Ze hebben een zeer brede waardplantenreeks inclusief sommige granen (met name haver en rogge), maar niet gerst en triticale. Bovendien kunnen ze langdurig overleven, tot meer dan 10 jaar in afwezigheid van waardplanten. De overleving is in zware gronden langer dan in lichte gronden. Er is veel variatie tussen verschillende populaties (stengelaaltjesrassen); dit maakt het voorspellen van schade lastig. Zeer geringe besmettingen kunnen al voor veel schade zorgen. Vanaf december 2019 is geen van de stengelaaltjesrassen nog een quarantaine-organisme. Stengelaaltjes kunnen ook met zaad overgedragen worden.

Maatregelen bodemgezondheid

Door de langdurige overleving en de vele waardplanten is vruchtwisseling lastig. Gerst, triticale, cichorei, schorseneer, suikerbiet, rode biet, vlas, spinazie en witlof vermeederen de meeste rassen stengelaaltjes niet, maar hiervan ondervinden suikerbiet, rode biet, vlas en spinazie wel schade. De laatste jaren wordt ook in Nederland melding gemaakt van vermeederen op suikerbieten op sommige percelen*^G. Volgens Jordan (2018) zijn er in de VS resistente luzernerassen beschikbaar. Het effect van cruciferen als groenbemester is onbekend*^H.

Andere maatregelen

- Hygiëne: aangetaste delen markeren en versleping van grond vermijden. Natte grondontsmetting of inundatie (Buschgens, 2018).
- Hittebehandeling van aangetaste bollen (Buschgens, 2018) maar ook warmwaterbehandeling van bloembollen (cultuurkoken).
- Inundatie van minimaal 14 weken gedurende de zomerperiode is effectief. Op gronden met weinig actief bodemleven moet organische stof toegepast worden.
- Anaerobe grondontsmetting kan effectief zijn, maar met name op zwaardere gronden niet altijd (Hoek, 2016).

Overig/in ontwikkeling

- Voor suikerbiet, en ook maïs, is er een toelating in Nederland van *Bacillus firmus* I-1582 (Votivo) als zaadbehandelingsmiddel. Over de werkzaamheid is er voor zover bekend in Nederland geen ervaring.

2.1.2 *Globodera* (aardappelcysteaaltje; aca)

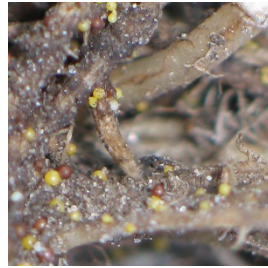
Lit. Molendijk, 2018.

	<i>Globodera</i>
	aardappelcysteaaltje
aardappel	●●●R
raketblad	- -i
overige	-

Bron: www.aaltjesschema.nl.



Valplek door
aardappelcysteaaltje



Globodera rostochiensis
op aardappelstolon

Veroorzaakt aardappelmoeheid. Er zijn twee soorten: geel aardappelcysteaaltje (*G. rostochiensis*) en wit aardappelcysteaaltje (*G. pallida*). Beide pathogenen hebben een quarantainestatus, wat betekent dat bij een besmetting er specifieke regelgeving van de overheid gevolgd dient te worden. Voor de teelt van pootaardappels is een AM-vrijverklaring van de grond verplicht. Besmetting wordt aangetoond door bodemonderzoek. Ook voor niet-waardplanten zijn de aardappelcysteaaltjes van belang omdat op voortkwekingsmateriaal, zoals bloembollen en boomkwekerijgewassen die bestemd zijn voor de export, geen cysten van *Globodera* mogen zitten.

In de vollegrondsbuitenteelten is alleen aardappel waardplant (daarnaast zijn ook andere nachtschade-achtigen waardplant, zoals tomaat en aubergine). De resistentie varieert sterk en is afhankelijk van de populatiesamenstelling van *Globodera*, zowel op soortniveau, als ook binnen de soort is er sterke variatie in virulentie (pathotypen).

Maatregelen bodemgezondheid

- Vruchtwisseling en raskeuze zijn de belangrijkste maatregelen. De keuzes dienen te worden gebaseerd op bodemonderzoek, waarin ook de soort van *Globodera* bepaald dient te worden. Met een teelt van een hoog resistent aardappelras wordt een uitzieking verkregen die sterker is dan die van een chemische grondontsmetting.

Andere maatregelen (Molendijk, 2018)

- Bedrijfshygiëne om te voorkomen dat besmette grond verplaatst wordt is essentieel. Alle vormen van grondverplaatsing kunnen van belang zijn: terugbrengen van sorteer- en zeefgrond, tegengaan van verstuiwen van grond en gebruik van schone machines en teeltrichting. Ook kunnen cysten in mest zitten als deze afkomstig is van vee dat recent nog met aardappelen is gevoerd. Wanneer een put minder dan 8 weken dicht heeft gezeten kunnen nog levende cysten aangetroffen worden.
- Bestrijding van aardappelopslag is essentieel. Wanneer er 1 juli nog planten staan dan is de levenscyclus voltooid.
- Een erkende methode is de teelt van aardappel als vanggewas. Hierbij worden volvelds aardappelen geteeld met een minimum van negen planten per vierkante meter. Na 40 dagen worden deze met glyfosaat gedood. De aaltjes worden zo wel uit de eieren gelokt maar kunnen hun levenscyclus niet afmaken (Molendijk et al., 2005).
- Inundatie (Runia et al., 2012) en anaerobe grondontsmetting (Overbeek et al., 2014) zijn effectief tegen *Globodera pallida* (wit aardappelcysteaaltje) maar moet nog nader worden onderzocht voor *G. rostochiensis* (geel aardappelcysteaaltje)*¹.

Onvoldoende effectief

- Raketblad (*Solanum sisymbriifolium*) verlaagt door lokking actief de grondbesmetting, maar de effecten zijn variabel en geringer dan als aardappel zelf als lokgewas wordt ingezet (Hartsema et al., 2005). Lokking treedt alleen op bij bodemtemperaturen boven 10°C.
- Dandurand et al. (2017) vonden in het veld na aanwending van 4,5 ton/ha zaadmeel van Sareptamosterd (*Brassica juncea*) 90% reductie van *Globodera pallida*.

Overig/in ontwikkeling

- *Pasteuria nishizawae* Pn1 (Clariva) is niet toegelaten in Nederland, maar wel in andere EU-lidstaten in suikerbiet tegen *Heterodera schachtii* (wit bietencysteaaltje). Deze antagonist komt ook in cysten van *Globodera* voor (Sayre et al., 1991; EFSA, 2018), maar de effectiviteit is niet bekend.
- *Paecilomyces lilacinus* 251 (PBP) tegen *Globodera* is niet toegelaten in Nederland maar wel in andere EU-lidstaten. Evenwel kon slechts één publicatie over de effectiviteit van deze antagonist gevonden worden, en wel tegen *Globodera pallida*. Hier was de antagonist opmerkelijk effectief in een kasproef met gesteriliseerde grond (Hajji et al., 2017). Zo'n proef op gesteriliseerde grond zegt weinig over de effectiviteit in een natuurlijke veldgrond.

2.1.3 *Heterodera* (bietencysteaaltjes; bca)

	<i>Heterodera</i>	
	<i>H. betae</i>	<i>H. schachtii</i>
	geel bietencysteaaltje	wit bietencysteaaltje
Akkerbouw		
suikerbiet	●●●R	●●●R
winterkoolzaad	●●●	●●●
zomerkoolzaad	●●●	●●●
erwt	–	–
overige	–	–
Groenten		
spinazie	●●	●●
asperge	–	–
kool	●●●	●●●
rode biet	●●●	●●●
stamslaboon	●	–
veld-/tuinboon	●●	–
overige	–	–
Groenbemers		
bladrammenas	–R	– –R
gele mosterd	–R	– –R
klaver	?	–
wikke	●●	–
overige	–	–

Bron: www.aaltjesschema.nl.

Er zijn twee soorten bietencysteaaltje naar de kleur van de cysten: *Heterodera betae* (geel bietencysteaaltje) en (*Heterodera schachtii* (wit bietencysteaaltje). *H. betae* (geel bca) is beperkt tot de zand- en dalgronden. Hoewel er partieel resistente rassen zijn, wordt afgeraden bieten te telen als de besmetting zwaar is (>1500 larven en eieren /100 ml grond).

Suikerbiet en rode biet zijn de belangrijkste waardplant; verder ook cruciferen (incl. koolzaad), spinazie en bij *H. betae* (geel bca) ook bonen. Verder vermeerderd deze soort op klavers. Korte teelten van gewassen voor conserven dragen niet bij aan vermeerdering. Engels en Italiaans raaigras, rogge, soedangras en Tagetes zijn geen waardplanten.

Maatregelen bodemgezondheid

- De hoofdmaatregel die het IRS (www.irs.nl) adviseert is uitzieking door juiste vruchtwisseling. De snelheid waarmee dit gebeurt is voor *H. betae* (geel bca) iets korter (minimaal 4 jaar) dan voor *H. schachtii* (wit bca) (minimaal 6 jaar). Dit komt doordat *H. betae* (geel bca) relatief makkelijk gelokt wordt door wortellexudaten van niet-waardplanten. De snelheid van uitzieken hangt van allerlei factoren af. Droogte leidt tot minder lokking, dus tot tragere uitzieking, een slechte ontwikkeling van een groenbemester ook, en onkruiden kunnen de besmetting langere tijd in stand houden.
- De teelt van resistente cruciferen (bladrammenas of gele mosterd) lijkt uitzieking bij wit bietencysteaaltje te versnellen. Vroeg zaaien en zorgen voor een goed ontwikkelde groenbemester is van groot belang. Eventueel kan meer gezaaid worden dan geadviseerd om meer garantie te hebben op een goed ontwikkelde groenbemester. Omdat de snelheid van uitzieking niet nauwkeurig is te voorspellen, wordt aanbevolen grondonderzoek te doen voorafgaand aan een eventuele teelt van suikerbieten.

Overig/in ontwikkeling

- Er is een toelating van *Bacillus firmus* I-1582 (VOTiVO) tegen *H. schachtii* (wit bca), maar informatie over de werkzaamheid werd in de literatuur niet aangetroffen. Dit middel is vooral onderzocht tegen het sojacysteaaltje (*Heterodera glycines*); de werkzaamheid lijkt beperkt te zijn (Beeman et al.,

2019). Ook tegen *H. avenae* (Havercysteaaltje) was de werkzaamheid beperkt of afwezig (Smiley et al., 2012).

- Weliswaar is de antagonist *Pasteuria nishizawae* Pn1 (Clariva) als zaadbehandeling in Denemarken toegelaten in suikerbiet tegen *H. schachtii* (wit bca), maar onderzoek naar de effectiviteit hiertegen werd in de literatuur niet aangetroffen. Het middel is vooral onderzocht tegen sojacysteaaltje (*Heterodera glycines*), waar de effectiviteit beperkt lijkt (o.a. Lund et al., 2018, Xiang et al., 2017).

Niet effectief

- Inundatie bleek niet effectief tegen *H. schachtii* (wit bca). Effecten van inundatie op *H. betae* (geel bca) zijn onbekend (Raaijmakers 2013, Zaayen, 1985).

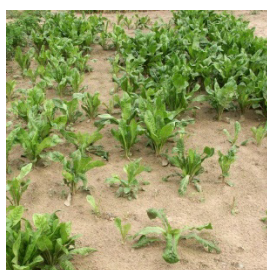
2.1.4 *Meloidogyne* (wortelknobbelaaltjes; wka)

	<i>Meloidogyne</i>			
	<i>M. chitwoodi</i>	<i>M. fallax</i>	<i>M. hapla</i>	<i>M. naasi</i>
	maïswortelknobbelaaltje	bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje	noordelijk wortelknobbelaaltje	graswortelknobbelaaltje
Akkerbouw				
aardappel	•••	•••	•••	–
cichorei	–	?	?	?
haver	••i	?	–	–
hennep	–	•i	?	?
luzerne	•	?	••	–
maïs	••	•	–	–
rogge	•••	•••	–	••
suikerbiet	•	•••	•••	•
teff	•••	?	?	?
triticale	••	•	–	•••
ui	•	•	•	•
vlas	–	?	•	•
wintergerst	••	•	–	•••
winterkoolzaad	?	?	•	•
wintertarwe	••	•	–	•••
zomergerst	•	•	–	•••
zomerkoolzaad	?	?	•	–
zomertarwe	••	••	–	•••
erwt	•	•	•••	–
peen	••	•••	••	–
Groenten				
schorseneer	•••	•••	••	–
spinazie	–	–	•	–
stamslaboon	–R	–	•••	–
veld-/tuinboon	?	?	•••	–
asperge	?	•••	?	?
aardbei	–	•••	•••	–
boerenkool	••	?	•	–
chinese kool	••	?	•	–
prei	••	•	•	–
rode biet	•	•••	•	•
selderijknol	?	?	••	?
sla	?	?	•	?
sluitkool	••	?	•	–
spruitkool	••	?	•	–
witlof	•	–	••	–
Bloembollen				
dahlia	•••R	•••R	•	–
gladiool	•••R	•••R	–	–
lelie	–	–	–	–
tulp	–	?	–	–

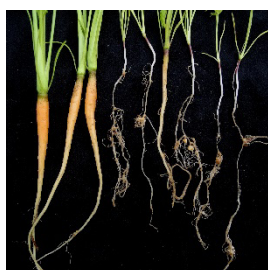
Bron: www.aaltjesschema.nl.

	<i>Meloidogyne</i>			
	<i>M. chitwoodi</i>	<i>M. fallax</i>	<i>M. hapla</i>	<i>M. naasi</i>
	maïswortelknobbelaaltje	bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje	noordelijk wortelknobbelaaltje	graswortelknobbelaaltje
Groenbemers				
bladrammenas	-R	••Ri	••	-
engels raaigras	•	•••	-	•••
facelia	•	•	••	-
italiaans raaigras	•••	•••	-	•••
japanse haver	•••	?	?	•
lupine	?	?	•••	?
perzische klaver	•••	•••	•••	?
raketblad	••	?	?	?
rogge	•••	••	-	••
soedangras	?	•	?	?
tagetes	-	-	-i	-
voederwikke	•R	•••	•••	?
witte klaver	••Ri	••Ri	••Ri	?

Bron: www.aaltjesschema.nl.



Meloidogyne hapla in cichorei



Meloidogyne hapla in peen



Meloidogyne chitwoodi in aardappelknol

Wortelknobbelaaltjes vormen knobbels op wortels van waardplanten. De belangrijkste soorten zijn *M. chitwoodi* (maïswortelknobbelaaltje), *M. fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje) en *M. hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje). *M. naasi* (graswortelknobbelaaltje) komt minder algemeen voor maar kan op zwaardere gronden ernstige schade geven in tarwe, uien en bieten. De eerste twee soorten (*M. chitwoodi* en *M. fallax*) zijn quarantaine-nematoden. De soorten verschillen sterk in waardplantenreeks. Ze hebben gemeen dat ze onder braak of bij teelt van de juiste gewassen in 1 tot 2 jaar sterk in niveau afnemen (Gamon & Lenne, 2012) en dat ze, met uitzondering van *M. naasi*, veel minder op zwaardere kleigronden voorkomen. Zeer lichte besmettingen (minder dan 1 juveniel per 100 ml) zijn al genoeg om een misoogst (kwaliteit) aardappel, peen of schorseneren te krijgen. *Meloidogyne chitwoodi* (maïs-wka) en *M. fallax* (bedrieglijk maïs-wka) hebben een uiterst brede waardplantenreeks inclusief granen. Zeer vatbaar en sterk vermenigvuldigend zijn aardappel, peen en schorseneer. Schade bij granen treedt niet of nauwelijks op, maar de vermenigvuldiging kan zeer groot zijn, zoals bij rogge. De teelt van dahlia en gladiool is mogelijk, de mate van schade en vermeerdering is rasafhankelijk. Als groenbemers zijn resistente rassen van bladrammenas mogelijk en *Tagetes patula* (afrikaantje).

Meloidogyne hapla (noordelijk wka) komt alleen voor op tweezaadlobbige waardplanten. Grote schade en vermeerdering kan optreden bij allerlei gewassen, met name aardappel, ui, peulvruchten, schorseneer, suikerbiet, rode biet, luzerne, selderijknol, sla en witlof. Als groenbemers zijn granen en grassen mogelijk, en *Tagetes patula* (afrikaantje).

Meloidogyne naasi (gras-wka) heeft granen en grassen als waardplanten, en vermeerdert zich ook enigszins op suikerbiet, ui en rode biet. Grassen of granen als groenbemers moeten dus vermeden worden. De waardplantstatus van veel gewassen voor deze aaltjessoort is echter onvoldoende bekend*^J.

Maatregelen bodemgezondheid

- De belangrijkste maatregel is juiste vruchtwisseling inclusief groenbemesters. Juiste kennis van de soort die aanwezig is en de omvang van de populatie bepalen de vruchtwisseling. Bij groenbemesters is het belangrijk om de juiste rassen te kiezen. Alleen resistente bladrammenas draagt bij aan afsterving van *M. chitwoodi* (maïs-wka). Onkruidbestrijding is essentieel: als aaltjes zich hierop vermenigvuldigen dan kan een goede vruchtwisseling hierdoor toch mislukken.

Andere maatregelen

- Het onder water zetten (inundatie) van land in zomer of nazomer heeft in proeven vanaf 2015 tot een zeer goede bestrijding van *M. chitwoodi* (maïs-wka) geleid. Voorwaarde is dat de bodemtemperatuur hoog genoeg is (16°C) zodat het bodemleven actief de zuurstof verbruikt en anaerobe verteringsproducten maakt die dodelijk zijn voor veel organismen. De periode voor sanering van *M. chitwoodi* (maïs-wka) moet 12 tot 14 weken zijn bij een bodemtemperatuur boven de 16°C. Ook bij *M. hapla* is inundatie op hiervoor geschikte gronden effectief, maar niet bij *M. naasi* (gras-wka), en effecten van inundatie op *M. fallax* (bedrieglijk maïs-wka) zijn onbekend*^k. Er zijn zeer veel organismen die deze omstandigheden overleven en de grond na drooglegging zeer snel weer koloniseren. Er is dus geen sprake van sterilisatie van de bodem. Er is onderzoek gestart om na te gaan wat de effecten zijn op het 'goede' bodemleven en de weerbaarheid van de grond voor andere ziekten en plagen.
- Voor percelen waar inundatie vanwege waterbeschikbaarheid of vlakligging niet mogelijk is, kan voor *M. chitwoodi* (maïs-wka) anaerobe grondontsmetting een alternatief zijn (Visser et al., 2017). Hierbij wordt 1 ton vers materiaal per cm diepte door de bouwvoor gewerkt. Vervolgens wordt beregend, dichtgerold en afgedekt met gasdicht folie. Hierbij komen dezelfde processen als bij inundatie op gang.
- *M. chitwoodi* (maïs-wka): laat zaaien leidt tot een lagere beginbesmetting bij aanvang van de teelt. Voor *M. chitwoodi* (maïs-wka) kan de kwaliteit van peen dan verbeteren maar blijft er risico op schade. Voor *M. fallax* (bedrieglijk maïs-wka) is aangetoond dat zaaien na half mei zelfs bij hoge besmettingen bij peen geen schade meer veroorzaakt (Molendijk et al., 1998).

Overig/in ontwikkeling

- Het effect van aanwending van chitine is enkele keren onderzocht. Inwerking van ca. 22 ton/ha chitine (afkomstig van kreeft) in een zavelgrond tot 15-20 cm diep ingewerkt leidde tot een verlaging van de besmetting met *M. hapla* (noordelijk wka) met 80-90% (Van Gastel-Topper et al., 2009). Runia et al. (2006) onderzochten het effect van chitine afkomstig van garnaal; hoeveelheid niet aangegeven op *M. chitwoodi* (maïs-wka). In één veld was de afdoding groot, in een ander veld onvoldoende. In het werk van Runia et al. (2006) werden meer behandelingen met elkaar vergeleken. Problematisch was in deze studie dat alle behandelingen min of meer effectief waren in 2003 en niet of nauwelijks in 2004. In beide jaren waren de behandeling bagger, bladrammenas en Italiaans raaigras het minst goed.
- In de EU is geen toelating voor de antagonist *Pasteuria penetrans*. Deze is meer onderzocht dan *P. nishizawae* Pn1 (Clariva), maar lijkt zijn toepassing vooral te vinden in de (sub)tropen vanwege zijn warmteminnende karakter (Lopes et al., 2018). Verder luisteren de omstandigheden waaronder *Pasteuria penetrans* zich kan vestigen in de bodem nogal nauw (kleigehalte 10-30%, hoge watervasthoudendheid, pH tussen 5,5 en 6,5) (Silva et al., 2018). Ook werden hooguit beperkte effecten gevonden in kasexperimenten van *Paecilomyces lilacinus* 251 (PBP) tegen *M. incognita* (niet aanwezig in de akkerbouw in Nederland) in tomaat (Kiewnick & Sikora, 2006; Giné & Sorribas, 2017).
- De paddenstoelvormende *Stropharia rugosoannulata* (Blauwplaatstrofaria) is in staat *M. hapla* (noordelijk wka) in vitro te inactiveren (Zouhar et al., 2013). Meer onderzoek hieraan kan interessant zijn, omdat de paddenstoel eetbaar en smakelijk is, en dus economisch van waarde is*^L. Het lukte Zhang et al. (2017) om de paddenstoel te telen onder Citrus. De soort komt ook in Nederland in het wild voor.
- Oplos et al. (2018) vonden nematicide-effecten van zaden van Zwarte nachtschade (*Solanum nigrum*) en van stengels van Doornappel (*Datura stramonium*) op de niet in de Nederlandse akkerbouw voorkomende *M. incognita* en *M. javanica*.

Niet effectief

- Kimpinski et al. (2003) diende gedurende 7 jaar elk jaar 16 ton compost of 12 ton mest/ha toe aan grond, maar er werd geen effect gevonden op aantasting door *M. hapla* (noordelijk wka).
- Compostthee en vermicompostthee kunnen wel effect hebben (60-90% afname in wortelknobbels), maar onder welke omstandigheden was onduidelijk (Edwards et al., 2007).
- Er zijn nauwelijks antagonisten bekend tegen *Meloidogyne*. De niet in Nederland maar wel in andere EU-lidstaten toegelaten antagonist *Pasteuria nishizawae* Pn1 (Clariva) (tegen *Heterodera schachtii* (wit bietencysteaaltje) in suikerbiet) vertoonde in een veldproef maar een geringe activiteit tegen *Meloidogyne*-soorten (Wishart et al., 2004).

2.1.5 Paratrichodorus en Trichodorus (vrijlevende aaltjes, trichodoriden)

	<i>Paratrichodorus</i>		<i>Trichodorus</i>	
	<i>P. pachydermus</i>	<i>P. teres</i>	<i>T. primitivus</i>	<i>T. similis</i>
Akkerbouw				
aardappel	•••	•	••	•••
cichorei	••	••	–	••
haver	?	••	?	?
luzerne	?	•	?	?
maïs	?	•••	?	••
rogge	•••	•••	?	?
suikerbiet	•••	•••	••	•••
triticale	?	?	?	?
ui	–	••	•••	?
vlas	?	•	?	?
wintergerst	?	••	?	?
winterkoolzaad	?	•••	•••	?
wintertarwe	•••	••	•••	?
zomergerst	•••	••	••	?
zomerkoolzaad	?	•••	?	?
zomertarwe	?	••	?	?
Groenten				
erwt	?	•	•	•
boerenkool	?	•••	?	?
chinese kool	?	•••	?	?
peen	••	••	••	•
prei	?	•	?	•
rode biet	?	•••	?	?
schorseneer	•	••	?	••
selderij, knol	?			
sla	?	?	?	?
sluitkool	?	••	?	?
spinazie	•••	•	•	?
spruitkool	?	?	•••	?
stamslaboon	•••	••	•••	?
veld-/tuinboon	?	?	?	?
witlof	••	•••	?	?
Bloembollen				
dahlia	•••	•••	•••	•••
gladiol	–	–	–	••
lelie	–	–	–	–
tulp	•	•	•	•
Groenbemesters				
bladrammenas	••	•	•••	••
engels raaigras	•••	•••	•••	•••
facelia	••	?	•	?
italiaans raaigras	•••	•••	•••	•••
lupine	?	•••	?	?
raketblad	••	••	••	••
rogge	•••	•••	?	•••
tagetes	?	?	?	?

Bron: www.aaltjesschema.nl.



Tabaksratelvirus in aardappel



Tabaksratelvirus in aardappelknol



Trichodoriden in peen

De belangrijkste vrijlevende trichodoride wortelaaltjes zijn *Paratrichodorus pachydermus*, *P. teres*, *Trichodorus primitivus* en *T. similis*. Deze en andere trichodoriden komen uitsluitend voor op zandgrond en lichte zavel. De aaltjes voeden zich aan worteltoppen van een scala aan gewassen. De wortel kan hierdoor zodanig beschadigd worden dat ze stopt met groeien. De plant vormt nieuwe wortels waardoor een afgeknot, vertakt en/of bossig wortelstelsel ontstaat. Bij peen, witlof en biet levert dit meer tarra op. Bij hoge dichtheden vallen kiemplanten weg. Uien en bieten verliezen daardoor opbrengst. Bij aardappels kan de aantasting ook op de spruiten plaatsvinden welke dan sterk gaat kronkelen en langgerekte bruine vlekken vertoont. Valplekken waarbinnen gezonde en beschadigde planten naast elkaar voorkomen, zijn het gevolg.

De aaltjes kunnen zich binnen enkele dagen, gelokt door de plant, van dieper gelegen lagen naar de jonge wortels verplaatsen. Hoewel de grootste aantallen in of net onder de bouwvoor voorkomen, zijn ze vaak tot aan het grondwaterniveau te vinden. Alle genoemde Trichodoridesoorten zijn overbrenger van het Tabaksratelvirus (TRV) en het vroege verbruiningsvirus van erwten (PEBV). Opvallend is dat elke soort zijn eigen virusstam bij zich kan dragen. TRV kan grote kwaliteitsschade veroorzaken in aardappel (stengelbont en kringerigheid) en enkele bolgewassen (ratel in tulp en kartelrand in gladiool). Als een aantal aaltjes TRV bevatten, treden bij geringe aantallen problemen op met het virus. Recent onderzoek laat vermoeden dat TRV in aardappel naast kwaliteitsproblemen ook opbrengstderving kan veroorzaken.

Maatregelen bodemgezondheid

- Een vruchtwisseling die de aaltjes niet vermenigvuldigt is bijzonder moeilijk te realiseren. Het risico op schade wordt sterk verminderd door gewassen die zeer schadegevoelig zijn (bijvoorbeeld aardappel) niet te laten voorafgaan door zeer goede waardplanten (drie stippen in de tabel). Zo is de problematiek met *Paratrichodorus teres* in de Wieringermeer en de Noordoostpolder sterk verminderd doordat gras en gras als groenbemester uit de rotatie werd gehaald. De laatste jaren komt gras in deze regio's weer terug en daarmee valt te verwachten dat het probleem met deze aaltjessoort weer toeneemt.
- In de Wieringermeer wordt *Paratrichodorus teres* wel bestreden door extra grondbewerking. Vooral onder droge omstandigheden zou dit de besmettingen verlagen. In onderzoek was het negatieve effect op structuur groter dan de verbetering van de aaltjessituatie (Hartsema et al., 2004). De resultaten zijn echter te onzeker om op basis hiervan een eenduidig advies op te stellen.
- Organische stof, vooral in de vorm van droge kippenmest, verbetert de opbrengsten op met *P. teres* besmette gronden aanzienlijk, de problemen met kringerigheid in aardappel worden echter niet voorkomen (Hartsema, 2004).
- Verlaten van het zaai- of plantmoment op percelen waarvan de teler weet dat schade er gemakkelijk optreedt. Dit met het idee dat bij hogere temperaturen het gewas eerder aanslaat en weggroeit zodat de schade minder is.
- Onkruidbestrijding is van belang vanwege de vele waardplanten voor zowel de aaltjes als TRV.

Overig/in ontwikkeling

- Mogelijk kan schade door trichodoriden worden tegengegaan door de grondwaterstand in het voorjaar te verlagen*^M.

Niet effectief

- Anaerobe grondontsmetting en inundatie zijn niet of weinig effectief. De directe schade kan daardoor het volgende seizoen wel minder zijn, maar de virusoverdracht wordt zeker niet geremd. De overlevende restbesmetting vermeerdert weer snel tot schadelijke niveaus.

2.1.6 *Paratylenchus bukowinensis* en *Rotylenchus uniformis* (overige vrijlevende aaltjes)

	<i>Paratylenchus bukowinensis</i>	<i>Rotylenchus uniformis</i>
Akkerbouw		
aardappel	–	•
erwt	?	•
haver	–	••i
rogge	–	•i
schorseneer	?	?i
suikerbiet	?	•••
triticale	–	?
wintergerst	–	•i
winterkoolzaad	•••	••
wintertarwe	–	•i
zomergerst	–	•i
zomerkoolzaad	•••	•
zomertarwe	–	•i
Groenten		
boerenkool	•••	••
chinese kool	•••	••
peen	•••	•••
rode biet	?	•••
selderij, knol	•••	?
sla	?	?i
sluitkool	•••	••
spruitkool	•••	••
overige	?	?
Bloembollen		
dahlia	?	?i
gladiool	?	–
overige	?	?
Groenbemesters		
engels raaigras	?	••i
italiaans raaigras	?	••i
rogge	–	•i
tagetes	?	?
overige	?	?

Bron: www.aaltjesschema.nl.

Speldaaltjes (*Paratylenchus*-soorten) komen zeer algemeen en vaak met meerdere soorten in alle grondsoorten voor. Ze dringen niet binnen in de wortels maar prikken de wortel aan om zich te voeden (ectoparasieten). Een van de meest bekende soorten is *Paratylenchus bukowinensis*. Deze soort veroorzaakt problemen in schermbloemigen zoals peen, knolselderij en venkel. Het typische symptoom is vertakking van het wortelstelsel met een roestbruine verkleuring door het afsterven van zijwortels. Deze soort kan zich goed op koolsoorten vermeerderen en veroorzaakt ook schade waardoor juist in bouwplannen waar cruciferen en schermbloemigen samen voorkomen er schade ontstaat.

Er is praktisch geen literatuur over deze soorten. Van *P. bukowinensis* is op basis van een modelleringsstudie geconcludeerd dat een 4-jarige teelt van peterselie op een besmette grond mogelijk is (Viscardi & Brzeski, 1992).

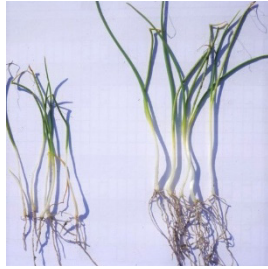
2.1.7 *Pratylenchus penetrans* (wortellessieaaltje)

	<i>Pratylenchus penetrans</i>
	wortellessieaaltje
Akkerbouw	
aardappel	•••
cichorei	••
gerst	••
haver	•••
hennep	•••
koolzaad	?
luzerne	•••
maïs	•••
rogge	•••
suikerbiet	•
tarwe	••
triticale	••
ui	•••
vlas	••
Groenten	
erwt	•••
aardbei	•••
boerenkool	•
broccoli	•••
chinese kool	•
peen	••
prei	•••
schorseneer	••
sluitkool	•
spinazie	•
spruitkool	•
stamslaboon	•••
veld-/tuinboon	•••
witlof	••
Bloembollen	
dahlia	•
gladiool	?
lelie	•••
tulp	••
Groenbemesters	
bladrammenas	•••
engels raaigras	••
facelia	•••
italiaans raaigras	•••
klaver, wikke	•••
lupine	?
rogge	••
serepta mosterd	••
soedangras	•••
tagetes	--
zwaardherik	•••

Bron: www.aaltjesschema.nl.



Pratylenchus penetrans
in peen



Pratylenchus penetrans
in zaaiui

Dit is voor de akkerbouw en bloembollenteelt op zand een belangrijke aaltjessoort. In combinatie met *Verticillium dahliae* (verticillium) kan de aantasting sterk toenemen. De waardplantenreeks is zeer breed. Weliswaar lijden granen niet veel schade, ze kunnen *P. penetrans* (wortellessieaaltje) wel sterk vermeerderen. De schadedrempel ligt op zandgronden met een laag organische-stofgehalte (vooral duinzandgronden) veel lager dan op gronden met een hoger gehalte (mond. meded. C. Conijn, Lisse). Dit geeft aan dat het bodemleven *P. penetrans* (wortellessieaaltje) waarschijnlijk tot op zekere hoogte in toom kan houden. Compostaanwendungen, die veelal de beste methode zijn om het organische-stofgehalte te verhogen, hebben echter wisselende resultaten gehad (zie hieronder).

Maatregelen bodemgezondheid

- Bij de teelt van een niet-waardplant is zorgvuldige onkruidbestrijding essentieel, omdat anders het effect van de niet-waardplant tenietgedaan wordt.
- Zomerteelt van *Tagetes patula* (afrikaantje) (Alexander & Waldenmaier, 2002; Evenhuis et al., 2004; Lamondia, 2006). Dit kan pas vanaf midden juli worden ingezaaid, waardoor onkruidbeheersing problematisch kan zijn, en daarmee een goede ontwikkeling van de *Tagetes*. Zonder goede ontwikkeling van *Tagetes* zal de bestrijding onvoldoende zijn. *Tagetes* kan andere aaltjes vermeerderen, zoals trichodoriden (Korthals et al., 2005).

Andere maatregelen

- Warmwaterbehandeling van bollen (narcissen, lelies).
- Op gronden die hiervoor geschikt zijn kan inundatie of anaerobe grondontsmetting worden toegepast (Muller & van Aartrijk, 1989; Visser, 2017).

Overig/in ontwikkeling

- Chitine (20 ton/ha) bleek in Vredepeel effectief te zijn (Cretoiu et al., 2013; Korthals et al., 2014). Deze effecten werden ook waargenomen op *Verticillium dahliae* (verticillium). Dit is gunstig, want deze pathogenen komen vaak in combinatie voor. De toepassing is echter voorsnog te kostbaar.
- De effecten van compost zijn wisselend. Korthals et al. (2014) vonden in Vredepeel een onderdrukkend effect van toediening van 50 ton/ha compost. Ook Leroy et al. (2007) meldden zulke effecten na toedienen van 45 ton/ha GFT-compost. Daarentegen namen Kimpinski et al. (2003) een toename van wortellessieaaltje waar na gedurende 7 jaar jaarlijks aanbrengen van 16 ton compost of 12 ton mest/ha. Dit zou veroorzaakt kunnen zijn door verbeterde wortelgroei, waardoor er voor het aaltje meer voeding beschikbaar was. Waarschijnlijk is de samenstelling van compost van belang, maar verdere details ontbreken*^N.
- Er is een toelating van *Bacillus firmus* I-1582 (VOTIVO) tegen *Pratylenchus* in maïs. Over de werkzaamheid hiervan is praktisch geen informatie in de literatuur gevonden. Jackson et al. (2010) (in Beeman et al., 2019) rapporteerden weinig tot geen effecten bij een veldproef in Nebraska (VS).
- *Paecilomyces lilacinus* 251 (PBP) is niet toegelaten in Nederland maar wel in andere EU-lidstaten. Evenwel kon slechts één publicatie over de effectiviteit van deze antagonist gevonden worden, en wel tegen *Pratylenchus thornei* (tarwewortelaaltje). Hier was de antagonist opmerkelijk effectief in een kasproef met gesteriliseerde grond (Kepenekci et al., 2018). Dit resultaat zegt dus weinig over mogelijke effecten in het veld.
- Aandrukken van grond lijkt op met *P. penetrans* besmette percelen in uien verminderde schade te geven. Het mechanisme hiervan is evenwel onbekend*^O.

Niet effectief

- Als bepaalde meststoffen de wortelgroei bevorderen dan kan dit tot gevolg hebben dat de populatie van wortelstee-aaltje toeneemt. Wellicht verklaart dit de toename in wortelstee-aaltje na toepassing van koeienmest (Forge et al., 2005).

2.2 Schimmels

De bodemgebonden plantenpathogene schimmels zijn wat betreft ecologie zeer verschillend. Sommige soorten laten zich duidelijk beïnvloeden door bodembeheer, andere kunnen sterk gestuurd worden door vruchtwisseling. Onderscheid wordt gemaakt in wortelbewoners en bodembewoners.

- Wortelbewoners zijn soorten die nauwelijks of niet actief zijn in de bodem. Ze wachten met hun ruststructuren totdat ze 'gewekt' worden door wortellexudaten. Dan kiemen ze, en infecteren ze de wortel. Dit zijn veelal pathogenen die met hun specifieke overlevingsstructuren in afwezigheid van hun waardplant vele jaren kunnen overleven. Voorbeelden van wortelbewoners zijn *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (bolrot; overleven met chlamydosporen), *Sclerotium cepivorum* (witrot; overleven met sclerotiën) en *Verticillium dahliae* (verticillium; overleven met microsclerotiën).
- Bodembewoners daarentegen zijn soorten die wel actief kunnen zijn in de bodem, door ook dood organisch materiaal te koloniseren. Vaak betreft het dan plantenmateriaal dat ze zelf al hebben afgedood. Voorbeelden zijn *Gaeumannomyces graminis* (tarwehalmdoder), *Plenodomus lingam* (stengelkanker) en *Rhizoctonia solani* (o.a. lakschurft op aardappel). Meestal is de overlevingsduur in afwezigheid van waardplanten wat korter dan die van wortelbewoners, maar deze kan nog steeds verscheidene jaren bedragen.

Om wortelbewoners te kunnen beheersen met bodembeheer is het de vraag hoe de kieming van hun overlevingsstructuren kan worden beïnvloed. Ofwel de kieming wordt afgeremd, bijvoorbeeld door toepassing van compost (wat toename van competitie tot gevolg heeft), ofwel de kieming wordt gestimuleerd in afwezigheid van waardplanten (wat uitputting van het pathogeen tot gevolg heeft). Om bodembewoners te kunnen beheersen richt de vraag zich daarnaast ook op effecten van het al dan niet verhakselen en/of inbrengen van gewasresten.

Anders dan bij de aaltjes is kwantitatieve detectie nog maar nauwelijks mogelijk. In enkele gevallen is dit ook niet nodig, omdat de beginpopulatie in de lente niets zegt over de ontwikkeling gedurende het groeiseizoen. Dit is vooral het geval bij bodembewonende pathogenen. Sommige bodembewoners kunnen zich onder gunstige omstandigheden explosief ontwikkelen, zoals *Rhizoctonia solani*. Ook voor *Gaeumannomyces graminis* (tarwehalmdoder) en *Plenodomus lingam* (stengelkanker) zal zo'n methode altijd wel lastig zijn, omdat deze pathogenen voor hun ontwikkeling sterk afhankelijk zijn van de gewasresten, waar ze op overleven. Voor de overige pathogenen geldt dat het beschikbaar komen van kwantitatieve bodemtesten wel van groot belang is voor de teler. Zolang deze nog niet beschikbaar zijn, is de teler vooral afhankelijk van de probleemgeschiedenis van de diverse percelen.

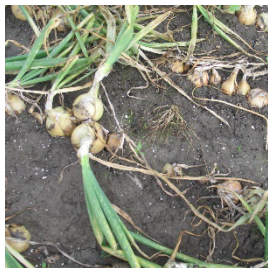
Voor *Sclerotium cepivorum* (witrot) is een commerciële, kwantitatieve detectiemethode ter bepaling van de mate van besmetting van de bodem beschikbaar. Dit geldt ook voor *Verticillium dahliae* en *V. longisporum* (verticillium), maar deze is relatief prijzig. Voor de overige pathogene bodemschimmels zijn zulke methoden niet beschikbaar.

In de afgelopen jaren zijn diverse protocollen ontwikkeld om heel specifiek pathogene schimmelsoorten of zelfs anastomosegroepen van *Rhizoctonia solani* te kwantificeren met DNA-analyses (qPCR-methodes). Bottleneck voor de detectie van deze bodempathogenen is dat een groot volume grond getest moet worden; maar hiervoor lijken recent perspectievolle methodes ontwikkeld te zijn (Woodhall 2012; Schulze 2016). Voor zinvolle detectie blijft het echter een probleem dat schimmels vaak complexe cycli hebben, zich explosief kunnen vermeerderen, en vaak sterk afhankelijk zijn van ziektevering van de bodem. Dat betekent dat de schadedrempel niet eenduidig te stellen is.

2.2.1 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (bolrot)

	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i> bolrot
Akkerbouw	
asperge	•
haver	••
knoflook	••
maïs	•
suikerbiet	•
tarwe	•
ui, sjalot	••
overige	?
Groenten	
prei	••?
overige	?
Groenbemesters	
japanse haver	•••
soedangras	•••
overige	?

Bron: Lamers et al., 2016; Leoni et al., 2013; Brayford, 1996.



Fusarium oxysporum f.sp.
cepea in ui

Fusarium oxysporum f. sp. *cepae* veroorzaakt bolrot in ui en andere *Allium*-soorten. De overlevingssporen, de chlamydosporen, zijn zeer persistent (>10 jaar). De schimmel kan overgaan met zaad en plantmateriaal (Southwood et al., 2015) en is warmteminnend. Vanwege de klimaatverandering is het aannemelijk dat dit pathogeen in Nederland zich zal uitbreiden. Uit recent onderzoek in Finland blijkt dat ook andere soorten *Fusarium* dezelfde symptomen in ui kunnen veroorzaken (*F. proliferatum*, *F. redolens*; Haapalainen et al., 2016). Er is geen methode voor de bepaling van de mate van bodembesmetting beschikbaar. De teler moet zich daarom laten leiden door kennis over de historie van aantasting.

Maatregelen bodemgezondheid

- De belangrijkste waardplant is ui, maar daarnaast ook andere *Allium*-soorten zoals knoflook en sjalot (Brayford, 1996). De ziekte vermeerderd sterk op japanse haver en soedangras, matig (tot sterk) op haver, zwarte boon en waarschijnlijk ook prei, en weinig op maïs, suikerbiet, tarwe en zonnebloem (Leoni et al., 2013; Brayford, 1996)*P.
- Vruchtwisseling: 10 jaar (Lamers et al., 2016); echter Brayford (1996) noemt 4 jaar.

Andere maatregelen

- Er zijn tolerante rassen beschikbaar, maar hierop treedt wel vermeerdering op (Kalkdijk et al., 2004). In afwezigheid van het pathogeen is de opbrengst van deze rassen geringer dan die van vatbare gewassen. Bovendien hebben sommige tolerante rassen slechtere bewaareigenschappen.
- Anaerobe grondontsmetting geeft enig effect (Lamers et al., 2012).

Overig/in ontwikkeling

- Over het effect van groenbemesters is weinig bekend. Bekend is dat japanse haver en soedangras een sterke vermeerdering te zien geven. Verder zijn aanwijzingen dat raapzaad (Sintayehu et al., 2014; getest in Ethiopië in potproeven) en stengels van zonnebloem (Özer et al., 2002; getest in Turkije in het veld) de ziekte enigszins onderdrukken (Sintayehu et al., 2014)*^Q.
- Er wordt onderzoek gedaan naar biologische bestrijding met *Trichoderma* (Bunbury-Blanchette & Walker, 2018).

Niet effectief

- Negatieve resultaten werden verkregen met *Bacillus subtilis* (Albarracín et al., 2016).

2.2.2 *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (tarwehalmdoder)

<i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	
tarwehalmdoder	
Akkerbouw	
aardappel	–
gerst	••
haver	– –
kolen	–
peulvruchten	–
suikerbiet	–
rogge	••
tarwe	••
triticale	••
Groenbemesters	
grassen	••
overige	–

Bron: Smith et al., 1988.

Tarwehalmdoder veroorzaakt wortelrot op tal van granen en grassen, wat leidt tot pleksgewijs achterblijven in groei. Er treedt vooral schade op in niet-zure, lichtere gronden. Infectie wordt vroeg in het seizoen gestimuleerd door natte gronden. Een goede bodemstructuur kan daarom gunstig zijn. Het overleeft op gewasresten tot waarschijnlijk maximaal 1 jaar, zowel op wel en niet ingewerkte gewasresten (van Toor et al., 2018). Het breidt zich uit op niet ingewerkte stoppelresten en overleeft op zowel wél als niet ingewerkte stoppelresten en wortelrestanten. Waardplanten zijn granen en grassen. Er zijn verschillende subtypen. De meest algemene is *G. graminis* var. *tritici*. Haver is hiervoor onvatbaar. Er is geen methode voor de bepaling van de mate van bodembesmetting beschikbaar. De teler moet zich daarom laten leiden door de kennis over de historie van aantasting.

Maatregelen bodemgezondheid

- Een tussengewas haver bestrijdt de ziekte effectief. Ook peulvruchten, suikerbieten en cruciferen worden aanbevolen; aardappel leidt tot minder effectieve bestrijding (bv. Weinmann, 2017).
- Continueelt op kleigronden kan na 4-5 jaar leiden tot spontane achteruitgang van de ziekte door opbouw van antagonistische populaties. Deze achteruitgang van tarwehalmdoder wordt opgeheven zodra de continueelt onderbroken wordt.
- Onkruidbestrijding is belangrijk omdat de schimmel actief kan groeien op allerlei grassoorten.
- Het inwerken van gewasresten in de bodem beperkt de groei van het pathogeen hierop (Cook & Haglund, 1991 en citaties hierin).

Andere maatregelen

- Bemesting met ammonium is beter dan met nitraat. Koper (Cu)-tekort bevordert de ziekte in gerst (bv. Lemaire, 1988).
- Goede, gebalanceerde plantenvoeding. Hoewel het altijd goed is om een gebalanceerde voeding na te streven, wordt dit bij dit pathogeen opvallend vaak genoemd in de literatuur.

Niet effectief

- Het verbeteren van de mangaan (Mn)-status van tarwe. Weinmann (2017) testte dit met positieve resultaten in potexperimenten, maar zonder resultaten in het veld. De biostimulant Proradix (op basis van *Pseudomonas* sp.) had een vergelijkbaar effect.
- De pseudomonaden (bacteriën) die de afname in *G. graminis* veroorzaken produceren het antibioticum 2,4-diacetylphloroglucinol (Raaijmakers et al., 2002). Weliswaar is hier veel onderzoek naar gedaan maar dit heeft nog niet geleid tot een in de praktijk toepasbaar product.
- Het versnellen van de afbraak van de geïnfecteerde gewasresten door stikstofbemesting was niet effectief (van Toor et al., 2016). Ook met compost kan de afbraak van gewasresten versneld worden, maar effecten werden alleen bereikt bij zeer hoge doses van 100-150 ton/ha (Tilston et al., 2005).
- Cruciferen-groenbemesters hadden geen bestrijdend effect (Kirkegaard et al., 2000).

2.2.3 *Plenodomus lingam* (stengelkanker, kankerstronken, vellers, zwartbeen)

Synoniemen: *Leptosphaeria maculans* = *Phoma lingam*

<i>Plenodomus lingam</i>	
stengelkanker	
Akkerbouw	
koolzaad	•••
sluitkool	•••
overige kolen/cruciferen	?
overige	–
Groenbemesters	
bladkool	?
bladrammenas	?
gele mosterd	•
overige kolen	?
overige	–

Bron: Lamers et al., 2016.

Stengelkanker is een ziekte van koolzaad en sluitkool. De schade treedt op op de bladen, maar de schimmel overleeft in de bodem. Op de stronken worden aan het eind van het groeiseizoen de overlevingsstructuren (pseudotheciën) gevormd, die gedurende drie jaar kunnen overleven, ook als stoppelresten de grond ingewerkt zijn. De sporen die in de overlevingsstructuren worden gevormd (ascosporen), infecteren de bovengrondse plantendelen. Er ontstaan bladvlekken waarop asexuele sporen gevormd worden die de plant weer opnieuw kunnen infecteren. Deze cyclus treedt meerdere malen per seizoen op. De schimmel kan met zaad overgaan. Er is geen methode voor de bepaling van de mate van bodembesmetting beschikbaar. De teler moet zich daarom laten leiden door de kennis over de historie van aantasting.

Maatregelen bodemgezondheid

- Vruchtwisseling met (partieel) resistente rassen 1:4 of ruimer, (Hegewald et al., 2017; Kutcher et al., 2013; canola). Gele mosterd is een matig vatbare waardplant die voor geringe vermeerdering van het pathogeen kan zorgen. Bladrammenas en bladkool lijden geen schade, maar vooralsnog is niet duidelijk of ze voor vermeerdering kunnen zorgen. Diverse cruciferen kunnen ook waardplant zijn, zoals zandraket. Onkruidbestrijding is daarom van belang.

Andere maatregelen

- Gebruik van resistente rassen; doorbraak van resistentie kan echter na enkele jaren al optreden (Zhang & Fernando, 2018).
- Warmwater- of fungicidebehandeling van zaad (Mancini & Romanazzi, 2013); ook behandeling met thijmolie is werkzaam, maar fytotoxiciteit bij gebruik van te hoge concentraties maakt de toepassing riskant. Bij toepassing van fungiciden moeten werkzame stoffen worden afgewisseld, zodat geen resistentie ontstaat.

Overig/in ontwikkeling

- Het inzaaien van een volgend gewas zonder enige grondbewerking, dus door de stoppels van koolzaad rechtop te laten staan, leidde tot 66% minder ascosporen, waarschijnlijk veroorzaakt door een voor het pathogeen ongunstiger microklimaat. Of dit ook leidt tot minder aantasting van het gewas werd niet onderzocht (McCredden et al., 2018).
- Versnipperen en inwerken van gewasresten. Als gewasresten in de grond zitten is er geen gevaar voor verspreiding. Een probleem is echter dat bij een volgende grondbewerking er weer gewasresten aan het grondoppervlak komen, en dit kan nog tot 3 jaar na de teelt voor problemen zorgen. Schneider et al. (2006) lieten zien dat het met slimme grondbewerking mogelijk is dit tot een minimum te beperken, maar het is onbekend of dit dan ook tot minder schade leidt, aangezien ook invliegende sporen van buurpercelen schade geven.
- Onderzoek aan biologische bestrijding heeft tot nu toe niet veel opgeleverd. Er is gekeken naar de mogelijkheid om stoppels versneld te laten afbreken door toedienen van bepaalde schimmels (Blenis

& Chow, 2005). Sommige antagonisten lijken in beperkte mate geïnduceerde resistentie teweeg te kunnen brengen al dan niet in combinatie met een direct antagonistisch effect (Ramaratham et al., 2006, 2011). Trichoderma's werken ook, maar zijn nog niet getest in robuuste veldexperimenten (Dawidziuk et al., 2016).

- *Pythium oligandrum* M1 (Polyversum) is niet toegelaten in Nederland maar wel in andere EU-lidstaten. Evenwel werden geen publicaties over de effectiviteit van deze antagonist tegen *Plenodomus lingam* gevonden.

2.2.4 *Rhizoctonia solani*

Lit. González García et al., 2006.

	<i>Rhizoctonia</i>		
	AG 2-1	AG 2-2IIIB	AG3
	zwartpoot	wortelrot	lakschurft
Akkerbouw			
aardappel	••	•••	•••
haver	?	–	–
luzerne	?	–	–
maïs	?	•••	–
rogge	?	–	–
suikerbiet	?	•••R	–
tarwe	••	–	–
ui	?	–	–
winterkoolzaad	•••	••	–
zomerkoolzaad	•••	?	–
Groenten			
aardbei	?		–
kool (bloemkool, spruitkool)	•••	?	–
peen	?	•••	–
prei	?	••	–
rode biet	?	•••	–
schorseneer	?	•••	–
stamslaboon	?	••	–
veld-/tuinboon	?	••	–
Bloembollen			
gladiool	?	•••	–
lelie	?	•••	–
tulp	?	?	–
Groenbemesters			
bladrammenas	?	•	–
bladkool	?	•	–
engels raaigras	?	•••	–
facelia	?	••	–
gele mosterd	?	••	–
italiaans raaigras	?	•••	–
japanse haver	?	?	–
tagetes	?	•••	–
witte klaver	?	•••	–

Bron: o.a. Lamers et al., 2016.



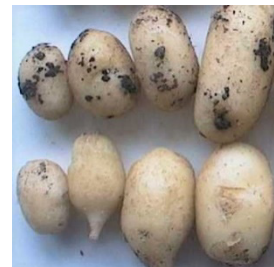
Rhizoctonia solani
AG 2-1 in bloemkool



Rhizoctonia solani
AG 2-2IIIB in suikerbiet



Rhizoctonia solani
AG 2-2IIIB in suikerbiet



Rhizoctonia solani AG 3
aardappel lakschurft

Rhizoctonia solani is een wereldwijd verspreid bodempathogeen. Karakteristiek zijn de typisch vertakte, brede schimmeldraden die snel door de grond kunnen groeien. Het seksuele stadium,

Thanatephorus cucumeris, wordt alleen gevormd op stengels van aangetaste aardappelplanten. *R. solani* overwintert als dikwandig mycelium of als sclerotien in de bodem of op gewasresten maximaal gedurende anderhalf jaar, maar kan ook als saprofytische schimmel op dood organisch materiaal groeien. Als bodembewoner (zie par. 2.2) is *R. solani* gevoelig voor bodembeheersmaatregelen. *R. solani* is opgedeeld in anastomosegroepen (afgekort: AG). Deze groepen kunnen alleen op basis van genetische of moleculaire kenmerken van elkaar onderscheiden worden, maar verschillen qua ecologie sterk. Zo is een bodem die ziekteverend is voor een bepaalde AG niet altijd ziekteverend voor een andere AG (Postma et al., 2014). Hier worden behandeld AG 2-1 (zwartpoot bij kool), AG 2-2 IIIB (o.a. wortelrot bij suikerbiet) en AG 3 (lakschurft bij aardappel).

Rhizoctonia solani AG 2-1 (zwartpoot)

Dit pathogeen veroorzaakt omval van kiemplanten en bij koolplanten in een ouder stadium zwartpoten. Bij bloemkool kan dit pathogeen bij aantasting vroeg in het groeiseizoen leiden tot een aanzienlijke uitval, terwijl een late aantasting voor een verlating van het oogsttijdstip en een slechte koolvorming kan zorgen. Onderzoek heeft uitgewezen dat verschillende *Rhizoctonia*-isolaten (behorende tot AG 1-1B, AG 1-1C, AG 2-1, AG 2-1 subset Nt, AG 3, AG 4 HGII, AG 5 en AG K) aanwezig zijn in Belgische bloemkoolakkers, maar dat isolaten behorende tot AG 2-1 domineren (Pannecoucq et al., 2008). Anderzijds kunnen isolaten behorende bij AG 2-1 ook bij andere gewassen schade geven, zoals tarwe en koolzaad (Sturrock et al., 2015; Jaaffar et al., 2016), sla (van Beneden et al., 2009b), aardappel (Murdock et al., 2019) of van andere gewassen geïsoleerd worden (bv. suikerbiet (Zhao et al., 2019), waar het wegval van kiemplanten veroorzaakt). Hieruit blijkt hoe complex de relatie tussen *R. solani* AG 2-1 en mogelijke waardplanten is. We weten ook niet of de isolaten van bijvoorbeeld tarwe en sla, pathogeen zijn op brassica's, want de meeste onderzoeken voeren pathogeniteitstesten alleen uit met het gewas waar de isolaten van af komen. Ook Lamers et al. (2016) hebben zich niet gewaagd aan het maken van een waardplantenschema voor AG 2-1.

Vooraf warme, vochtige omstandigheden bevorderen de ontwikkeling van het pathogeen, waardoor infecties bij opkweek onder glas een risico vormen (Proefstation België, 2015). De optimum temperatuur voor myceliumgroei is getest met een serie AG 2-1 isolaten van koolzaad in Canada en was 20-25°C (Kamiski & Verma, 1985).

Maatregelen bodemgezondheid

- Continueert van bloemkool leidt tot opbouw van ziekteverendheid die biologisch van aard is (Postma et al., 2010). Dit kan alleen op bodems waar geen serieuze problemen optreden met andere bodemziekten zoals knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*).
- Voorkom structuurschade (Proefstation België, 2015); een slechte bodemstructuur bevordert de ziekteontwikkeling*^R.

Andere maatregelen

- Aandacht voor gezond plantgoed, dat bovendien voldoende is afgehard (Westerdijk et al., 2003).

Overig/in ontwikkeling

- Cellulose en lignosulfonaat door de bodem mengen enkele weken voor het planten kan de bodemweerbaarheid verhogen (Westerdijk et al., 2003), maar bij toediening vlak voor planten veroorzaakt dit juist meer aantasting als het pathogeen al in de bodem aanwezig is.
- Toediening van 0,3% verenmeel aan de bodem enkele weken voor zaai maakt de bodem ziekteverend. Dit is getest in potproeven waarbij het pathogeen aan de grond werd toegevoegd (Postma et al., 2014).

Niet effectief

- De antagonist *Verticillium biguttatum* bleek in staat een kunstmatige besmetting van jonge bloemkoolplanten met *R. solani* op de tray in de kas goed te bestrijden. Maar *V. biguttatum* toegepast op de tray en/of in het veld was niet in staat de aantasting na uitplanten in het veld in voldoende mate tegen te gaan (Westerdijk et al., 2003).
- De antagonist *Verticillium tricorpus* getest met bloemkool in potproeven was niet effectief, terwijl *Gliocladium catenulatum* (product Prestop) alleen bij zeer hoge dosis (5x) effectief was (Deketelaere, 2012).

***Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB (wortelrot)**

Lit. <http://www.irs.nl>.

Rhizoctonia solani AG 2-2 IIIB veroorzaakt pleksgewijze wortelrot. Vooral bekend van suikerbiet, maar ook in schorseneer, rode biet, peen, lelie en gladiool kan veel schade optreden. Een slechte bodemstructuur, bijvoorbeeld als gevolg van een oogst van het vorige gewas onder slechte omstandigheden, kan de ziekte sterk in de hand werken. Aardappel lijdt geen schade, maar structuurschade als gevolg van de oogst kan de ziekte sterk stimuleren. Ook bij maïs kan sterke vermeerdering optreden. Continueelt leidt tot opbouw van ziekteverendheid, die biologisch van aard is (van der Voort et al., 2016), waardoor valplekken van jaar tot jaar kunnen variëren.

Er is geen detectiemethode voor de mate van bodembesmetting beschikbaar, maar dit lijkt ook niet zinvol gezien de onder gunstige omstandigheden explosieve groei van het pathogeen. De teler moet zich daarom laten leiden door de kennis over de historie van aantasting.

Maatregelen bodemgezondheid

- Haver gevolgd door bladrammenas voorafgaand aan de teelt van een vatbaar gewas (Lamers et al., 2016) vermindert de aantasting. In plaats van haver zijn ook tarwe en ui geschikt.
- Voorvruchten maïs, gladiool, lelie, peen en schorseneren vermijden.
- Een slechte bodemstructuur bevordert de ziekteontwikkeling*^R.

Andere maatregelen

- Er zijn partieel resistente suikerbietrassen bekend; deze hebben in afwezigheid van *Rhizoctonia* wel een geringere opbrengst.

Overig/in ontwikkeling

- Toedienen van specifieke, eiwitrijke reststoffen leidde in een biotoets met veldgrond (klei) tot ziekteverendheid (Postma et al., 2013). Allerlei eiwitrijke producten hadden vergelijkbare effecten. De beste effecten werden verkregen met hoefmeel, verenmeel, ruwe chitine en vleesmeel, maar ook vismeel en ruwe chitine (gembri) van kreeftachtigen hadden in potproeven een duidelijk effect (Postma et al., 2013). Uit vervolgprouven bleek dat 0,3% chitine effectief is op zandgronden en 0,3% verenmeel op klei- en zandgronden, en beide niet op löss. Vervolgonderzoek met meer veldgronden met 0,3% chitine of verenmeel leidde tot variabele resultaten en in één veldgrond, bij 0,3% chitine, tot toename in ziekte. Het moment van toepassing ten opzichte van een vorstperiode zou een rol gespeeld kunnen hebben. Vooralsnog is er dus nog geen effectieve toepassing in het veld aangetoond. In een latere biotoets met kleigrond werd significante ziektevering gevonden van champignonpoeder, chitosan-HCl, zuivere chitine, ruwe chitine, bloed-, hoef-, veren-, vis- en vleesmeel (allemaal toegediend in een dosis van 0,3% = ca. 4,5 ton/ha bij inmengen in de bovenste 10 cm) (Postma & Schilder, 2015). Champignonpoeder, dat ook chitinehoudend is, was opvallend effectief (aantasting door *R. solani* 11-16% vergeleken met controle). Ineffectief waren champost, gedroogde algen, bierborstel, cruciferen-zaadmeel en zeewiermeel.
- Gezien het belang van bodemstructuur zou het interessant zijn te onderzoeken wat het effect is van toedienen van specifieke stoffen zoals chitine op besmette gronden in combinatie met bodemstructuurverbetering*^S.

Niet effectief

- Inundatie van *R. solani* in bloembollenonderzoek (AG niet bekend) was niet effectief (Zaayen, 1985).

***Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft)**

Rhizoctonia solani AG 3 veroorzaakt zwarte, platte sclerotien op aardappelknollen, vandaar de naam lakschurft. Het pathogeen kan ook de stengel aantasten en wordt dan kanker genoemd. Alleen aardappelen worden aangetast. Er zijn geen gewassen bekend die de schimmel bevorderen of onderdrukken. De schimmel kan in de grond onder gunstige omstandigheden snel groeien. Weliswaar gaat de schimmel sterk achteruit bij ruime rotaties van 1:6, maar dan nog kunnen aantastingen optreden.

Springstaarten en mijten voeden zich met *Rhizoctonia solani* AG 3 (Hofman & Bollen, 1987; Hofman, 1988). Dit werd in Nederland ontdekt toen lakschurft toenam na toepassing van nematiciden (Hofman & Bollen, 1987; Scholte, 1987). Vervolgens is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om

springstaarten en mijten te stimuleren (Lootsma, 1997). Geconstateerd werd dat allerlei groenbemesters na inwerken de bodemfauna stimuleren. Het bleek dat met name het inwerken van haver een gunstig effect had op de predatoren van lakschurft en daarmee de lakschurft ook verminderden. Hoewel Lootsma (1997) twee veldexperimenten deed, zou dit werk nog verder uitgebreid kunnen worden met veldproeven met diverse groenbemesters onder praktijkomstandigheden*^T.

Continuteelt kan lakschurft doen afnemen. Dit fenomeen is biologisch van aard, omdat dit ziekteverende effect verdwijnt na sterilisatie van de bodem. Dit stemt overeen met de grote hoeveelheid literatuur die er is over antagonisten van lakschurft. In de biologische teelt in Nederland bestaat het idee dat ziekteverendheid ook optreedt bij gebruik van eigen pootgoed, maar dit is niet proefondervindelijk bewezen (Postma et al., 2004). Larkin et al. (2017) vonden in de V.S. echter dat continueelt altijd leidde tot meer lakschurft. Gezien allerlei andere problemen in de aardappelteelt, zoals *Globodera* (aardappelvormende), is continueelt bovendien geen praktische oplossing, maar het fenomeen geeft wel het potentiële belang aan van het bodemleven en daarmee van biologische bestrijding.

Detectie in grond is lastig, omdat de schimmel in zeer geringe dichtheden overblijft. De teler moet zich daarom laten leiden door de kennis over de historie van aantasting. Op de knollen zijn de sclerotiën eenvoudig waar te nemen.

Maatregelen bodemgezondheid

- Vruchtwisseling: aardappel is de enige waardplant. Een 1:6 vruchtwisseling wordt geadviseerd. Teelt van een cruciferen-groenbemesters leidde gemiddeld over 60 veldexperimenten tot onderdrukking van lakschurft, maar soms was er ook bevordering (range: 25% bevordering tot 100% onderdrukking; 42 van de 60 experimenten waren effectief (Larkin et al., 2013) (zie Tabel 2, par. 1.3.1) (Larkin et al., 2017)*^U. Op basis van Nederlandse veldexperimenten op zand en klei vond Scholte (1992) dat de teeltfrequentie van aardappels belangrijker is dan het type gewas in de vruchtwisseling.

Andere maatregelen

- Gebruik van schoon pootgoed.
- Maatregelen die de opkomst bespoedigen (warme grond, ondiep poten).
- Tijdig (binnen 10 dagen) oogsten na loofdoding, looftrekken of groenrooien reduceert de vorming van sclerotiën op de knollen.
- Inundatie is effectief: sclerotiën waren na 3 weken inundatie bij 5-20 °C vrijwel allemaal dood (Roosjen & Boerma, 1990).

Overig/in ontwikkeling

- In de 70'er jaren van de vorige eeuw werd in sommige velden waar frequent aardappels werden geteeld toch geen lakschurft gevonden. Dit bleek te zijn veroorzaakt door opbouw van populaties van de antagonist *Verticillium biguttatum* (o.a. Jager et al., 1991; van den Boogert & Luttikholt, 2004). In de 80'er jaren werden vervolgens veldexperimenten gedaan waarbij de schimmel aan kiemende poters werd toegevoegd. Verspreid over 3 jaar werden 15 veldexperimenten ondernomen op 7 locaties. De effecten varieerden, maar het aantal velden met minder dan 5% verlies steeg van 24% in de controle naar 56% in de behandeling met *V. biguttatum* (Jager et al., 1991). De effectiviteit was minder groot op licht zure, zandige grond en groter op zeeklei. *V. biguttatum* is alleen effectief als de bodemtemperatuur hoger is dan 12°C. Al met al is *V. biguttatum* dus wel effectief, maar moeilijk te kweken en daarmee duur, zodat er geen toelating van het middel is. Het is wel diverse jaren met succes getest door biologische pootgoedtelers (Postma, interne documenten).
- Larkin (2016) testte in veldexperimenten een flink aantal antagonisten gedurende 2 jaar. De velden waren kunstmatig besmet met *Rhizoctonia solani* AG 3 wegens een te lage natuurlijke besmetting. *Bacillus subtilis* GB03 had fors effect (67-75% minder stengelaantasting), maar de knolinfectie was slechts afgenomen van 95 naar 75% en van 100 naar 87,5% in respectievelijk jaar 1 en 2. De mate van de aantasting was ook geringer. Opmerkelijk was dat de opbrengsten hoger waren dan verwacht, van 23,6 naar 27,5 ton/ha in jaar 1 en van 22,9 naar 25,6 ton/ha in jaar 2. De antagonist *Burkholderia ambifaria* had ook goede effecten. *Trichoderma virens* GI-21 en *T. harzianum* eveneens, maar alleen in jaar 1. De antagonisten hadden ook effecten op het microbiële

bodemleven.

In een ander onderzoek testten Larkin et al. (2017) *Bacillus subtilis* GB03, *Burkholderia ambifaria* type Wisconsin isolaat J82 en *Trichoderma virens* Gl-21. In alle gevallen was de bestrijding beperkt. In beide jaren ging de incidentie van lakschurft achteruit van 95% in de controle tot maximaal 75% in de behandeling. De zwaarte van de aantasting ging in het ene jaar van 3,8% naar 2,7% en in het andere jaar van 4,3% naar 3,4%.

Combinaties van verschillende soorten en isolaten *Trichoderma* lieten soms mooie resultaten zien tegen lakschurft, en ook zijn er in afwezigheid van pathogenen plantengroei-bevorderende effecten waargenomen (Hicks et al., 2014; Brewer & Larkin, 2005). Ook Wilson et al. (2008) vonden in het veld goede effecten van *T. harzianum* en bleken dit te kunnen combineren met flutonalil. Ook hier werd het groeibevorderende effect waargenomen.

- Toepassing van zwavel (S) verhoogt de resistentie van de aardappelplant (Klikocka et al., 2005) (onderzoek uit Polen op een zavelige grond met hoog (10%) organische-stofgehalte). Hospers et al. (2015) vonden een correlatie tussen ziektevering van *Rhizoctonia* in aardappel en zwavel, maar dit was niet consistent.
- Soms heeft compost een ziekte-onderdrukkend effect (Tuitert et al., 1998). Het mechanisme waarlangs compost ziekteverendheid induceert tegen lakschurft werd door Hoitink & Boehm (1999) specifiek genoemd: dat wil zeggen dat bepaalde micro-organismen in de compost aanwezig moeten zijn. Ligninerijke composten lijken meer tot ziektevering te leiden dan andere composten (Hoitink et al., 1997; Stone et al., 2004).
- Er zijn aanwijzingen dat verenmeel (8,6 ton/ha) lakschurft onderdrukt (en bovendien *Streptomyces scabies* (gewone schurft)) (Lazarovits et al., 2008).
- Larkin (2008) testte de toepassing ca. 4,5 kg/ha van een commercieel mengsel van 8 soorten arbusculaire mycorrhiza op aardappel en vond significant minder (0,78 ten opzichte van 1,09% aantasting in de controle) *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft), maar geen effect op *Streptomyces scabies* (gewone schurft). Toediening van EM (effectieve micro-organismen) en het product Vitazyme (een mengsel van vitamines, enzymen, organische zuren, groeiregulatoren en plantenextracten) hadden geen effecten. Helaas is dit experiment niet herhaald. Effecten van compostthee zijn in een ander experiment onderzocht door Larkin (2008) (zie par. 1.3.2).
- Hijri (2016) evalueerde de praktijktoepassing van de arbusculaire mycorrhizaschimmel *Rhizophagus irregularis* DAOM197198 op de aardappelopbrengst op 231 velden. Dit waren gesplitste velden, met één deel met en één deel zonder inoculatie met *Rhizophagus irregularis*. Gemiddeld werd in 79% van de proeven een toename van 3,9 ton/ha waargenomen; in sommige gevallen was er een verlaging in opbrengst. Helaas is niet gekeken naar de relatie met de bodem-P niveaus. Hoewel effecten niet uitgesloten kunnen worden, lijken mycorrhiza-effecten alleen te verwachten waar de P-niveaus laag zijn (Bender et al., 2019). Bovendien is de vestiging van mycorrhiza locatie-afhankelijk (Kokkoris et al., 2019), waardoor toepassing onzeker is (Loján et al., 2017).
- Het product Tellus op basis van de antagonist *Trichoderma asperellum* ICC012 en *T. gamsii* ICC080 heeft een toelating tegen *Rhizoctonia solani*, maar alleen in de bedekte teelten.

Niet effectief

- In Nederland is de antagonist *Trichoderma harzianum* T22 (Triatum, Orgapower) toegelaten, maar effecten op lakschurft zijn voor zover bekend niet onderzocht in Nederland. In buitenlands onderzoek worden variabele effecten gerapporteerd. In veldexperimenten vond Larkin (2016) in twee jaar geen effecten van dit middel op lakschurft.
- Het snel na doodspuiten met glyfosaat inbrengen van gerst (Smiley et al., 1992), ui (Sharma-Poudyal et al., 2016) en wintertarwe (Smiley et al., 1992) leidde tot meer *Rhizoctonia solani* (lakschurft).
- Grondbewerking had geen effect (Griffin et al., 2009).
- Het ontbreken van effecten van EM (effectieve micro-organismen) en het product Vitazyme (een mengsel van vitamines, enzymen, organische zuren, groeiregulatoren en plantenextracten) zijn hierboven besproken (Larkin et al., 2008).

2.2.5 *Sclerotinia sclerotiorum* en *S. minor* (rattenkeutelziekte)

Lit. Saharan & Mehta (2008), Wander et al. (2011).

	<i>Sclerotinia</i>	
	<i>S. minor</i>	<i>S. sclerotiorum</i>
	rattenkeutelziekte	rattenkeutelziekte
Akkerbouw		
aardappel	?	••
cichorei	•	?
granen	?	–
hennep	?	•
koolzaad	•••	?
luzerne	•••	?
maïs	?	–
suikerbiet	?	•
ui	?	•
Groenten		
erwt (conserven)	•	•
aardbei	?	–
asperge	?	?
peen	•	••
prei	?	?
schorseneer	•	?
sla	••	
sluitkool	•	••
spinazie	•	
stamslaboon	•	••
veld-/tuinboon	•	•
witlof	•	••
Bloembollen		
dahlia	•	?
gladiool	?	?
lelie	?	?
tulp	?	?
Groenbemers		
bladrammenas	•	•••
bladkool	•	•••
engels raaigras	?	–
facelia	?	?
gele mosterd	•	•••
italiaans raaigras	?	–
japanse haver	?	–
tagetes	•	?
witte klaver	•	?

Bron: o.a. Lamers et al., 2016.



Sclerotinia sclerotiorum
op aardappelstengel



Sclerotinia sclerotiorum
op knol

Sclerotinia minor en *S. sclerotiorum* zijn nauw verwante, maar verschillende soorten. Beide vormen rattenkeutelvormige sclerotiën, de overlevingsstructuren. Deze kunnen zonder waardplant gedurende 10 jaar in de grond overleven (Ben-Yephet, 1993). Zo'n 2% van de sclerotiën overleeft het maagdarmkanaal van schapen*^v. De mate van besmetting van de bodem met sclerotiën kan in principe door observatie van gezeefde grond bepaald worden, maar dit is veel werk en interpretatie is lastig door de vaak ongelijke verdeling over het veld. De teler moet zich daarom laten leiden door de kennis over de historie van aantasting.

Sclerotinia minor

Sclerotiën kiemen ondergronds en tasten wortels van vatbare planten aan. Sla wordt het meest genoemd als waardplant, maar vele tweezaadlobbige planten zijn waard, met name uit de schermbloemigen (Apiaceae), composieten (Asteraceae), cruciferen (Brassicaceae), vlinderbloemigen (Fabaceae) en anjerfamilie (Caryophyllaceae). Van de akkerbouwgewassen kunnen koolzaad, luzerne en cichorei veel schade ondervinden. De waardplantstatus is echter nog onvoldoende bekend*^w.

Populaties bouwen langzaam op: bij een geringe aantasting zijn niet per se drastische maatregelen nodig. Uitzieken (teelt zonder waardplant) duurt 4 jaar (Adams & Ayers, 1979). Luzerne en koolzaad kunnen sterk bijdragen tot toename van de besmetting. Hoewel de waardplantenstatus niet zo goed bekend is als die van *S. sclerotiorum*, valt te verwachten dat granen en grassen bijdragen aan natuurlijke sterfte van de sclerotiën. Zie verder *S. sclerotiorum*.

Sclerotinia sclerotiorum

Sclerotiën die zich aan het bodemoppervlak (tot 4 cm diep) bevinden, kiemen en vormen bovengronds kleine (<1 cm), schotelvormige paddenstoelen, de apotheciën. De hieruit voortkomende ascosporen infecteren de bovengrondse plantendelen. Op aangetaste plantendelen worden weer nieuwe sclerotiën gevormd. Zeer brede waardplantenreeks, maar granen, suikerbiet en houtige gewassen zijn (praktisch) ongevoelig. Gevoelig zijn aardappelen, aardbei, andijvie, bladrammenas, blauwmaanzaad, karwij, knolselderij, kool, koolzaad, peen, peulvruchten, prei, sla en witlof, en daarnaast ook diverse onkruiden. In sommige gewassen zoals peen kan de ziekte verder uitbreiden in de bewaring (Kora et al., 2005). In Nederland lijden met name peulvruchten en witlof schade. De waardplantstatus van aardbei is niet duidelijk. Op internet circuleren wel mededelingen dat aardbei kan worden aangetast, maar in de wetenschappelijke literatuur is hier geen informatie over gevonden. Onder de groenbemesters kunnen bladrammenas en gele mosterd bijdragen tot een sterke toename van de besmetting. De schimmel infecteert vooral verzwakte planten, en treedt de plant binnen via wonden, zoals geknakte bladeren. Met name onder vochtige omstandigheden kan de aantasting snel toenemen.

Maatregelen bodemgezondheid (S. minor en S. sclerotiorum)

- Vruchtwisseling richten op granen en gras. Ook als groenbemesters geen tweezaadlobbigen telen. Zwarte braak is minder effectief dan het telen van granen of gras (Wander et al., 2011).
- Vermijd een te dicht gewas op besmette gronden om de voor de schimmel gunstige vochtige omstandigheden tegen te gaan (vooral *S. sclerotiorum*).
- Een kerende grondbewerking is effectief voor een volgend vatbaar gewas, omdat alleen sclerotiën die zich in de bovenste 0 tot 4 cm van de bouwvoor bevinden in het voorjaar apotheciën vormen (alleen *S. sclerotiorum*). Echter, na nog een keer ploegen komen de sclerotiën weer in de bovenlaag terecht, waarna ze weer zullen kiemen. Ook is aangetoond dat sclerotiën in diepere bodemlagen beter overleven, waarschijnlijk door de daar beperkte aanwezigheid van antagonisten (Merriman et al., 1979).
- Schoffelen op het moment dat de apotheciën gevormd zijn is effectief, maar dit vereist nauwkeurige observatie van de minuscule vruchtlichaampjes (diam. tot 1 cm) (alleen *S. sclerotiorum*). Laat aanaarden van aardappelruggen is ook een mogelijkheid.
- Het verwijderen van aangetaste gewasresten kan effectief zijn, maar het kost veel werk en is moeilijk om de meeste sclerotiën daadwerkelijk te verwijderen (alleen *S. sclerotiorum*).
- *Coniothyrium minitans* CON/M/91-08 (Contans) is een toegelaten biologisch bestrijdingsmiddel dat toegepast kan worden in een vochtige grond bij een bodemtemperatuur >12°C. Meestal werkt dit middel pas voldoende na herhaaldelijke toepassingen. Het middel werkt langzaam en moet daarom diverse maanden voorafgaand aan een voor *Sclerotinia* gevoelige teelt toegepast worden. Aangezien vooral de sclerotiën in de bovenlaag aangepakt moeten worden, kan het middel pas na een kerende grondbewerking toegepast worden. Ook het gewas kan worden bespoten met Contans, kort nadat

de eerste infecties zichtbaar zijn. Als dit gedurende vijf jaar in achtereenvolgende vatbare gewassen werd uitgevoerd, werd een bestrijding van 90% verkregen (Gerlagh et al., 1999, 2004). Weng et al. (2012) vonden in een veldproef met soja in Wisconsin geen effecten in het eerste jaar en betere effecten in de twee jaar erna. Hoewel de andere geteste biologische bestrijders (*Trichoderma harzianum* T22, *Streptomyces lydicus* WYEC108 en *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 (Serenade, zie ook hieronder)) ook significante effecten toonden, liet Contans de beste resultaten zien. Nicot et al. (2019) melden dat Contans op grote schaal gebruikt wordt in Frankrijk met "feedback from farmers are largely positive", maar waarschuwen voor resistentieontwikkeling van *Sclerotinia*.

- Van Beneden et al. (2009a) vonden een sterke verbetering van aan de bodem toegediende Contans door ook 7.2 ton/ha lignine aan de bovenste 10 cm van de grond toe te dienen*^E.
- *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 (Serenade) is toegestaan tegen *Sclerotinia*. In het zoekstelsel voor wetenschappelijke literatuur Scopus (www.scopus.nl) is maar één referentie gevonden waarin de werkzaamheid in een veldsituatie is onderzocht (Weng et al., 2012). Dit betrof de behandeling van grond op twee locaties in Wisconsin (VS) met Serenade die kunstmatig besmet was met sclerotiën van *S. sclerotiorum*. Serenade reduceerde het aantal sclerotiën in de bladeren van soja in drie van de zes metingen (2 locaties, 3 jaar onderzoek) significant met 55-78%; in twee jaar was de aantasting te gering om een effect te kunnen meten, en op één locatie in het eerste jaar was er een toename van 7,5 naar 16,5 sclerotiën per kilo boon (55% toename)¹³. Deze toename in het eerste jaar werd ook geobserveerd voor de andere biologische bestrijders.

Andere maatregelen

- Anaerobe grondontsmetting is effectief (Lamers & van Os, 2016; alleen *S. sclerotiorum*).
- Inundatie is effectief: in een kasproef was 96% van de overlevingsstructuren afgedood na 12 weken inundatie bij 16,5 °C (Niem et al., 2013; alleen *S. sclerotiorum*).

Overig/in ontwikkeling

- Het inwerken van gedroogde gewasresten zou beter zijn dan het inwerken van natte gewasresten (Lamers et al., 2016). Of het oppervlakkig inwerken in de grond beter is dan besmette gewasresten op het veld te laten liggen is niet duidelijk (Krupinsky et al., 2002; Merriman et al., 1979)*^X.
- *Pythium oligandrum* M1 (Polyversum) is niet toegelaten in Nederland maar wel in andere EU-lidstaten. Deze antagonist kan forse doding veroorzaken van sclerotiën in niet-steriele grond (Madsen & de Neergaard, 1999). De antagonist lijkt echter niet (Whipps, 1987) of beperkt (Baturo-Ciesniewska et al., 2018) effectief te zijn op plantmateriaal (t.b.v. na-oogst). In de literatuur zijn allerlei andere antagonisten te vinden met activiteit tegen *Sclerotinia* (bv. Fernando et al., 2007; review: Derbyshire & Denton-Giles, 2016), maar deze hebben geen toelating.
- Het product Tellus op basis van de antagonisten *Trichoderma asperellum* ICC012 en *T. gamsii* ICC080 heeft een toelating tegen *S. sclerotiorum*, maar alleen in de bedekte teelten.

Niet effectief

- Effecten van compost zijn vooral onderzocht in potgrondachtige systemen. In zo'n omgeving van een arm bodemleven zal het door compost toegevoegde bodemleven zeker bijdragen tot doding van de sclerotiën (Pane et al., 2013). In de meeste natuurlijke gronden zal compostaanwending een gering effect hebben. Waar wel effecten zijn gerapporteerd zijn onrealistisch grote hoeveelheden toegediend (>200 ton/ha van rioolslib en ca. 1000 ton/ha koeienmest) (Noble & Coventry, 2005; Noble, 2011). Hier is doding waarschijnlijk veroorzaakt door organische vetzuren of ammoniak.

¹³ De auteurs noemen in de samenvatting van hun publicatie het effect van Serenade "marginal". Dit slaat dan klaarblijkelijk op de ziektescore die in de samenvatting gemeld is. Deze ziektescore is slechts op één van de twee locaties gemeten en daar was het effect van Serenade 15% (niet significant) en 44% (significant) minder ziekte, waarmee het niet afweek van de chemische controle en twee andere biologische bestrijders (*Trichoderma harzianum* T22 en *Streptomyces lydicus* WYEC108). Alleen Contans (*Coniothyrium minitans*) had wat dit betreft in één van de twee jaar een significant beter effect (69% minder ziekte). De effecten op de opbrengst staan in de publicatie wel vermeld, maar statistische effecten zijn niet gegeven. Het is dus onduidelijk waarom de auteurs de effecten van Serenade "marginal" noemen.

2.2.6 *Sclerotium cepivorum* (witrot)

	<i>Sclerotium cepivorum</i>
	witrot
Akkerbouw	
aardappel	–
cichorei	–
granen	–
koolzaad	–
peen	–
suikerbiet	–
ui	•••
Groenten	
knoflook	•••
prei	•••
sjalot	•••

Bron: Smith et al., 1988.



Sclerotinia cepivorum
witrot schade in plantui

Sclerotium cepivorum veroorzaakt witrot bij *Allium*-soorten, vooral ui en sjalot, en in mindere mate bij knoflook en prei. In de rottende bollen worden de overlevingsstructuren, de sclerotiën, gevormd, die tot 20 jaar in de bodem kunnen overleven in afwezigheid van waardplanten (Coley-Smith et al., 1990). Kieming gebeurt als gevolg van door wortels afgescheiden zwavelverbindingen, zoals diallylsulfide. Waardplanten scheiden deze stof uit, zodat infectie alleen optreedt als de wortels van waardplanten in de buurt zijn. Na kieming koloniseert de schimmel snel de bol, en vormt daar massaal nieuwe sclerotiën. De optimale temperatuur voor witrot ligt tussen 10 en 20°C. Kwantitatieve detectie met behulp van qPCR wordt aangeboden door commerciële laboratoria.

Maatregelen bodemgezondheid

- Alleen *Allium*-soorten zijn vatbaar, vooral ui en knoflook en in iets mindere mate prei. Er zijn geen problemen te verwachten met groenbemesters en onkruiden.

Andere maatregelen

- De belangrijkste maatregel bestaat uit een zeer goede bedrijfshygiëne. Bij een eerste optreden van witrot in een veld, dit secuur afvoeren en vernietigen.
- Inundatie werkt waarschijnlijk niet maar moet nog nader worden onderzocht*^Y. De resultaten zijn nogal wisselend. Nader onderzoek moet uitwijzen of en hoe een effectieve bestrijding mogelijk is.
- Witrot is nog niet getest in anaerobe grondontsmetting*^Y.

Overig/in ontwikkeling

- Al lange tijd wordt onderzocht of de verbindingen die door waardplanten uitgescheiden worden en die leiden tot kieming van de sclerotiën, ingezet kunnen worden om kieming te veroorzaken in afwezigheid van waardplant. Dit lukte Davis et al. (2007) (4 veldproeven) met 112 kg/ha knoflookpoeder in een veldgrond: hierdoor kiemde 90% van de sclerotiën. Het restant was echter nog zo groot dat de aantasting onveranderd hoog was. Ook recent wordt nog steeds onderzoek aan

dit onderwerp gedaan, met wisselende resultaten (bv. Hovius & McDonald, 2002; Qian & Dung, 2007). Voor een van de werkzame stoffen, dimethyldisulfide, is momenteel registratie aangevraagd voor Bulgarije en Italië. Goede effecten (aantasting gedaald van 78 naar <18% zieke planten) die gemeld zijn na toepassing van 63 ton/ha compost gemaakt van uienafval zouden op hetzelfde mechanisme kunnen berusten (Coventry et al., 2006).

- Er is al veel onderzoek gedaan aan mogelijkheden voor biologische bestrijding. Vooral variabele effecten zijn verkregen, bv. met *Trichoderma viride* S17A (bv. Clarkson et al., 2006) en *T. koningii* Tr5 (Metcalf et al., 2004). Deze middelen zijn niet geregistreerd.

2.2.7 *Synchytrium endobioticum* (wratziekte)

	<i>Synchytrium endobioticum</i>
	wratziekte
aardappel	●●●R
overige	—

Bron: Langerfeld, 1988.



*Wratziekte opkomst-
problemen in aardappel*



*Wratziekte op
aardappelknollen*

Wratziekte is een quarantainepathogeen van aardappelen. De ziekte vormt karakteristieke wratten op de knollen, waarin microscopisch kleine rustsporen worden gevormd, die zeer langdurig in afwezigheid van waardplanten kunnen overleven (> 20 jaar). Onkruiden die tot de Solanaceae behoren kunnen ook geïnfecteerd worden. Wratziekte komt wereldwijd voor, met name in regio's met een koel en vochtig klimaat met lange, koudere winters. Een besmet veld wordt, inclusief omliggende percelen, onderworpen aan een reeks van voorschriften (NVWA, website <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/plantenziekten-en-plagen/wratziekte>). Ook de teelt van voortkweekingsmateriaal (bv. bloembollen) is dan niet toegestaan. Er worden diverse fysio's onderscheiden. In sommige gebieden in Nederland waar het risico op wratziekte groot is worden alleen bepaalde aardappelrassen toegestaan.

Maatregelen bodemgezondheid

- Er zijn geen voldoende effectieve maatregelen voor bodemgezondheid bekend die bijdragen tot ziektevermindering tegen wratziekte, er is namelijk een nultolerantie ten aanzien van de aanwezigheid van dit pathogeen in de bodem. Vanzelfsprekend is hygiëne een uiterst belangrijke maatregel om verspreiding van besmettingen te vermijden.

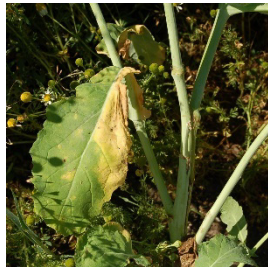
2.2.8 *Verticillium dahliae* en *V. longisporum* (verticillium)

	Verticillium	
	<i>V. dahliae</i>	<i>V. longisporum</i>
Akkerbouw		
aardappel	●●●R	–
cichorei	●	–
granen	●	–
hennep	●●	–
koolzaad	●	●●●
luzerne	●●	–
maïs	●	–
peen	●	–
suikerbiet	●	●
ui	●	–
Groenten		
broccoli	–	–
aardbei	●	–
asperge	–	–
erwt (conserven)	●	–
kolen excl. broccoli	–	●
peen	●	–
spinazie	●	–
stamslaboon	–	–
veld-/tuinboon	●●	–
witlof	●	–
Groenbemesters		
witte klaver	●●	–
bladrammenas	?	●
kruisbloemigen	?	●
overige	–	?

Bron: *V. dahliae*: Lamers et al., 2016; *V. longisporum*: DePotter et al. (2016), Jackson & Heale (1985).



Verticillium dahliae in aardappel



Verticillium longisporum in koolzaad

Verticillium veroorzaakt verwelking. De overlevingsstructuren, de microsclerotiën, worden massaal op afgestorven bovengrondse plantendelen gevormd, ook als het gewas is doodgespoten met een herbicide. Deze microsclerotiën kunnen langdurig in de bodem overleven. Onder invloed van wortellexudaten kiemen deze en infecteren ze de wortels. Van daaruit groeien ze de houtvaten in, die vervolgens verstopt raken, waardoor verwelking optreedt. In combinatie met vooral wortellesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*) en ook wortelknobbelaaltje (*Meloidogyne*) kan de aantasting sterk toenemen. Eén jaar braak is onvoldoende om de microsclerotiën af te doden (Franca et al., 2013; Subbarao & Hubbard, 1999). Op zwaar besmette gronden is zelfs 4 jaar zwarte braak onvoldoende gebleken (Franca et al., 2013). Er zijn twee soorten, *Verticillium dahliae* en *V. longisporum*. Voor de bepaling van de mate van besmetting van een bodem met microsclerotiën is een commerciële test beschikbaar.

Verticillium dahliae

Deze soort heeft een brede waardplantenreeks. In de akkerbouw vooral problematisch in aardappel en suikerbiet, maar vele soorten inclusief granen kunnen *V. dahliae* in stand houden. Naast de akkerbouw en groenteteelt zijn er ook problemen in de boomteelt (es, esdoorn en trompetboom). Gewassen die (min of meer) groen geoogst worden dragen niet bij aan vermenigvuldiging, omdat microsclerotiën zich op afstervend gewas vormen. Dit geldt ook voor vroeg geoogste aardappelen waarvan het gewas niet is doodgespoten. *V. dahliae* infecteert net als *V. longisporum* ook koolzaad, maar veroorzaakt hierop minder schade.

Maatregelen bodemgezondheid

- Granen zijn de beste keus in de vruchtwisseling, ondanks dat ook dan beperkte vermenigvuldiging mogelijk is (Wheeler & Johnson, 2016; Lamers et al., 2016). Ook gewassen met een korte teeltduur en die groen geoogst worden (bv. spinazie, vroeg geoogste aardappelen) kunnen worden ingezet. Luzerne, hennep en veld-/tuinboon en als groenbemester witte klaver vermijden op besmette percelen zijn goede maatregelen om schade te voorkomen.

Andere maatregelen

- Inundatie leidt tot afdoding van de bodembesmetting met ruim 80% (Runia et al., 2012).
- Anaerobe grondontsmetting is redelijk tot goed effectief.

Overig/in ontwikkeling

- Het product Tellus op basis van de antagonist *Trichoderma asperellum* ICC012 en *T. gamsii* ICC080 heeft een toelating tegen *V. dahliae*, maar alleen in de bedekte teelten.
- In Californië is veel onderzoek gedaan naar effecten van het inbrengen van broccoliresten in de grond op overleving van *V. dahliae* (Inderbitzin et al., 2018). Het gaat dan om grote hoeveelheden: 224 ton versgewicht /ha aan gewasresten (broccoliblad, gesneden in kleine stukjes van 1 cm diam.). Dit heeft dan in 2 maanden tijd een reductie tot gevolg van 50% van de bodembesmetting. Bij een geringere hoeveelheid broccoli, 6-24 ton/ha, werd maar een gering effect op *V. dahliae* vastgesteld en geen effect op de opbrengst van aardappel (Ochiai et al., 2007). De broccoli produceert tijdens de microbiële afbraak in de grond isothiocyannaten die toxisch zijn voor microsclerotiën. Dat broccoli zo'n sterk effect heeft, en niet andere koolsoorten, lijkt met het ligninegehalte ervan te maken te hebben dat een specifieke bodemmicroflora induceert. Dit mechanisme is niet in detail uitgezocht. Dit lignine-effect wordt ook genoemd door Debode et al. (2005)*^{AA}.
- Effecten van chitine zijn meerdere malen onderzocht. Chitine (20 ton/ha) bleek in Vredepeel *V. dahliae* sterk te onderdrukken (Korthals et al., 2014). Op een licht zure zandgrond werd 20 ton/ha chitine (afkomstig van garnalen) tweemaal in een groeiseizoen toegepast. Dit leidde twee keer tot een significante daling (van 26,5 naar 10 en van 12 naar 1 microsclerotiën /g grond) en één keer tot een niet-significante afname (van ca 19 naar ca 15,5 microsclerotiën /g grond). Inderbitzin et al. (2018) vonden na toediening van 0,2% chitine (afkomstig van kreeft + 10% verenmeel) (= ± 5,2 ton/ha) in één veldgrond meer dan een halvering van de besmetting met *V. dahliae*, maar in een andere veldgrond een toename. Samenvattend zijn effecten van chitine dus niet consistent, en bovendien is de hoeveelheid die toegepast wordt te hoog om de methode rendabel te maken. Toch zou toepassing van chitine veelbelovend kunnen worden, mede omdat er ook goede effecten zijn op *Pratylenchus penetrans* (wortelzieaaltje). De toepassing is momenteel echter nog te duur, en, gezien de resultaten van Inderbitzin et al. (2018) ook niet altijd voldoende.
- Visemulsie (een bijproduct uit de visindustrie) 2× per jaar toegediend met 2000 liter/ha leidde in proeven met veldgrond gedurende 4 jaar tot halvering van *V. dahliae* in aardappel (Abbasi, 2013). Deze hoeveelheid visemulsie is lastig in overeenstemming te brengen met de stikstofbemesting.
- Soltani et al. (2002) vonden op 4 locaties meer dan een halvering van *V. dahliae* na toediening van 6 ton d.s./ha ammoniumlignosulfonaat. Ook werd met deze behandeling in 3 van deze 4 locaties gewone schurft sterk bestreden.

Niet effectief

- Het verwijderen van met microsclerotiën bezette aardappelstengels bleek de aantasting in het volgende gewas niet te verminderen (Lamers & Termorshuizen, 1994, niet gepubliceerd).

Verticillium longisporum

V. longisporum werd vroeger de diploïde vorm van *V. dahliae* genoemd, maar wordt nu als aparte soort gezien. *V. longisporum* tast vooral kolen aan, en dan met name koolzaad.

Maatregelen bodemgezondheid

- In de vruchtwisseling kunnen alle niet koolachtigen en broccoli gebruikt worden (bloemkool is wel waardplant) (Njoroge et al., 2011), behalve mogelijk mierikswortel (Depotter et al., 2016). Ook suikerbiet kan worden geïnfecteerd (Depotter et al., 2016). Het is onbekend of op de ongevoelige broccoli microsclerotieën gevormd worden*^Z.

Overig/in ontwikkeling

- Er zijn geen toegelaten biologische middelen. Volgens een recent overzicht is *Bacillus amyloliquefaciens* ssp. *plantarum* UCMB5113 een veelbelovende antagonist tegen *V. longisporum* (Depotter et al., 2016).
- Debode et al. (2005) vonden een bestrijdend effect op *V. longisporum* van diverse organische-stof toevoegingen aan grond, met name van residuen van rogge en maïs. Hierbij lijkt het ligninegehalte een belangrijke rol te spelen. De toedieningen zijn voor de praktijk echter veel te hoog (5-10%, dus zo'n 1000-2000 ton/ha).

2.3 Bacteriën, oömyceten en protisten

In deze paragraaf worden de bodempathogenen behandeld die taxonomisch gezien zeer divers zijn, maar niet tot de aaltjes of de schimmels behoren.

Voor de pathogenen in dit hoofdstuk zijn kwantitatieve detectiemethoden ter bepaling van de mate van besmetting van de bodem niet beschikbaar. Voor *Aphanomyces* en *Pythium* geldt dat dit ook niet zinvol is omdat deze pathogenen zich explosief kunnen vermenigvuldigen. Belangrijker is in dit geval dat de teler weet of deze pathogenen al eerder problematisch waren op een bepaald perceel. Voor *Plasmodiophora brassicae* (knoelvoet) bestaat wel een biotoets, maar deze is kostbaar en tijdrovend.

2.3.1 *Aphanomyces* (oömyceet)

	<i>Aphanomyces</i>	
	<i>A. cochlioides</i>	<i>A. euteiches</i>
Akkerbouw		
suikerbiet	●●●	?
Groenten		
erwt	–	●●●
overige peulvruchten	–	●●?
rode biet	●●●	?
spinazie	●●●	?
overige	–	?
Groenbemesters		
wikke, klaver		●●?
overige	–	?

Bron: IRS en Lamers et al., 2016.

Onder *Aphanomyces* worden hier twee soorten behandeld, *A. cochlioides* en *A. euteiches*. Ze behoren net als de bekendere *Pythium* en *Phytophthora* tot de oömyceten. De door deze pathogenen gevormde rustsporen, de oösporen, kunnen langdurig in de grond overleven. Na kieming van deze oösporen worden zoösporen gevormd, die vrij vocht nodig hebben om zich te kunnen verspreiden. Wellicht is het belang van deze pathogenen onderschat: volgens Grünwald & Coyne (2003) behoren deze pathogenen tot de belangrijkste van resp. suikerbiet en peulvruchten. Of dit voor Nederland ook geldt is een open vraag.

***Aphanomyces cochlioides* (kiemplantziekte, wortelrot en -schurft)**

Lit.: www.irs.nl.

Veroorzaakt kiemplantziekte, wortelschurft en wortelrot in suikerbiet en rode biet. Alle stadia van de plant kunnen worden aangetast, maar kiemplanten zijn het meest vatbaar. Een slechte waterhuishouding en bodemstructuur en een te lage pH bevorderen de ziekte. Algemeen op met name de zand-, dal- en zavelgronden. Wortelrot kan voortschrijden in de bewaring. Onkruiden uit de Ganzenvoetfamilie (*Chenopodiaceae*) kunnen ook waardplant zijn. Een Ca-AL¹⁴-gehalte >250 mg/100 g grond lijkt wortelrot te onderdrukken (Olsson et al., 2019). Een qPCR-methode voor de bepaling van bodembesmetting is ontwikkeld (Almquist et al., 2016), maar de uitkomst is afhankelijk van het kleigehalte; bovendien is de methode nog niet gevoelig genoeg. De methode is nog niet commercieel verkrijgbaar. De teler moet zich daarom laten leiden door de kennis over de historie van aantasting.

Maatregelen bodemgezondheid

- In de vruchtwisseling suikerbiet, rode biet, en spinazie vermijden.
- Zorgen voor goede bodemstructuur met vooral goed waterdoorlatend vermogen.
- Op probleempercelen bekalken zodat Ca-AL-gehalte >250 mg/100 g.
- Goede onkruidbestrijding van waardplanten (bv. melganzevoet).
- Op bekende probleempercelen vroeg zaaien.

¹⁴ Ca-AL = calcium bepaald in ammoniumlactaat-extract.

Andere maatregelen

- Gebruik van tolerante rassen.

Overig/in ontwikkeling

- Er is beperkt onderzoek gedaan naar biologische bestrijding. Takenaka & Ishikawa (2013) vonden dat *Pythium oligandrum* MMR2 effectief was.

***Aphanomyces euteiches* (wortelrot)**

Veroorzaakt wortelrot en kiemplantuitval in vooral erwt maar ook andere peulvruchten, waaronder luzerne, tuinboon en wikke (Quillévére et al., 2018). Er zijn ziekteverende gronden gevonden waarvan de werking biologisch is (Persson et al., 1999). De ziekte wordt vaak niet opgemerkt, maar lijkt in erwt algemeen te zijn en problematischer te worden, vooral door nauwere rotaties (Chatterton et al., 2019). Kan zich ook goed ontwikkelen in gronden met een lage temperatuur, waardoor groenbemesters die tot de peulvruchten behoren waarschijnlijk bij kunnen dragen tot de instandhouding van de ziekte. In Zweden reduceerde gele mosterd (*Sinapis alba*) als groenbemester wortelrot veroorzaakt door *A. euteiches* sterk, mits de mosterd zich goed ontwikkelde (hoge N-dosis) (Hossain et al., 2015). Een biotoets voor het vaststellen van een bodembesmetting is beschreven en wordt toegepast in Frankrijk (Gangneux et al., 2014), maar ook in België en Oostenrijk wordt een standaard biotoets door conservenindustrie toegepast (Clarkson et al., 2014), maar die is voor de praktijk in Nederland vooralsnog niet beschikbaar.

Maatregelen bodemgezondheid

- Bij erwt een 1:6 vruchtwisseling aanhouden. Voor andere peulvruchten is wellicht een iets nauwere vruchtwisseling mogelijk. Wikke en klaver als groenbemester vermijden.
- Vermijd gronden met slechte waterdoorlatendheid.

Overig/in ontwikkeling

- Wellicht werkt gele mosterd onderdrukkend; dit moet echter nog wel worden onderzocht onder Nederlandse omstandigheden*^{BB}.

Zie verder het hoofdstuk over wortelrot bij peulvruchten (par. 3.6).

2.3.2 *Phytophthora erythroseptica* (roodrot; oömyceet)

	<i>Phytophthora erythroseptica</i>
	roodrot
Akkerbouw	
aardappel	•••
gerst	••
luzerne	•
rogge	•
tarwe	•
Groenten	
erwt (conserven)	•
asperge	•
sluitkool	•
spinazie	•
stamslaboon	•
witlof	•
Bloembollen	
tulp	••
overige	?
Groenbemesters	
engels raaigras	••
italiaans raaigras	••
tagetes	••
overige	?

Bron: Lamers et al., 2016.

Roodrot van aardappelknollen is een bewaarziekte, maar infectie treedt op in het veld. Vochtige omstandigheden zijn nodig voor infectie, die met name na een warme periode massaal kan optreden (Mulder & Turkensteen, 2008). Het is niet duidelijk hoe lang de schimmel in de grond kan overleven in afwezigheid van aardappelen ("vele jaren").

Maatregelen bodemgezondheid

- Goede structuur van de grond om stagnerend vocht zo veel mogelijk te vermijden.

Andere maatregelen

- Na oogst snel drogen.
- Bij infectie van meer dan 1-2% van de knollen, deze niet bewaren omdat dan de aantasting uitbreidt.

Overig/in ontwikkeling

- Er zijn aanwijzingen op basis van potexperimenten in watercultuur dat de ziekte zich niet of slecht ontwikkelt bij pH > 7; mogelijk speelt Ca-voeding hierbij een rol (Benson et al., 2009ab).
- Er wordt gewerkt aan biologische bestrijders (bv. o.a. *Bacillus subtilis*, *B. pumilus*; Gachango et al., 2012; Adiyaman et al., 2011), maar dit heeft vooralsnog niet tot producten geleid.

2.3.3 *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet; protist)

Lit.: Dixon (2014).

<i>Plasmodiophora brassicae</i>	
knolvoet	
Akkerbouw/Groenten	
alle koolachtigen	•••
overige	–
Groenbemesters	
alle koolachtigen excl. bladrammenas	•••
bladrammenas	–
overige	–

Bron: Lamers et al., 2016.

Knolvoet is gemakkelijk te herkennen aan grote wortelknollen (gallen) aan het wortelsysteem. De ziekte komt bij koolachtigen wereldwijd voor in gebieden met een gematigd klimaat. De rustsporen kunnen extreem lang in de grond overleven. De ziekte is heftiger in gronden met een lage pH en in gronden met een slechte waterdoorlatendheid. Gossen et al. (2016) lieten zien dat gronden met een lagere bulkdichtheid een hogere ziektewerendheid hadden, en dat dit een additioneel effect is dat los staat van effecten van waterdoorlatendheid van de bodem. Knolvoet wordt veroorzaakt door de protist (= protozo) *Plasmodiophora brassicae*. De eencellige rustsporen, die in de gallen gevormd worden, zijn verantwoordelijk voor besmetting van de grond. Een zwaar besmette grond kan miljoenen rustsporen per gram grond bevatten (Dixon, 2014). Deze kunnen zeer lang in de grond overleven, tot zeker 17 jaar of langer (Buczacki, 1988; Wallenhammar et al., 2014). Als wortelharen van vatbare planten in de buurt zijn vormen de rustsporen zoösporen, die de wortelharen infecteren. Deze zoösporen kunnen alleen in de grond bewegen als er vrij water aanwezig is. In de plant vermenigvuldigen ze zich verder, en de plant reageert hierop door de vorming van typische, grote wortelknollen. Er zijn diverse genotypen binnen knolvoet die variëren in pathogeniteit. Hier is onvoldoende kennis over. Knolvoet kan worden aangetoond door een zeer vatbaar ras te telen op de te testen grond. De incubatietijd is lang (enkele weken) en daardoor is deze test voor de praktijk te kostbaar.

Maatregelen bodemgezondheid

- Alle koolachtigen zijn waardplant, maar radijs is relatief ongevoelig, maar mogelijk wel een goede waardplant. Voor koolzaad kunnen partieel resistente rassen iedere 4 jaar geteeld worden, maar niet frequenter (Wallenhammar et al., 2014). Een teelt van een partieel resistent ras vermindert niet het besmettingsniveau in de grond. Ook partieel resistente rassen moeten ruim geteeld worden. Cruciferen als groenbemesters worden afgeraden als ook kolen geteeld worden. Uitzondering is bladrammenas, die geen waardplant is (Eldering et al., 2013). Ook onkruiden uit de cruciferen-familie, zoals herderstasje, zijn waardplant en moeten dus goed bestreden worden op besmette percelen.
- Peng et al. (2014) vonden voor koolzaad dat een teeltfrequentie van 3 jaar of meer met niet-waardplanten telen in combinatie met het gebruik van resistente of tolerante rassen van waardplanten een teelt mogelijk maakt (Canadees onderzoek).
- Bekalking tot een pH van 7 of hoger.
- Ca-bemesting.
- Tegengaan van een slechte bodemstructuur (en daarmee verbeteren van drainage en stimuleren van mineralisatie van ammonium naar nitraat).

Andere maatregelen

- Vroege teelt, zodat de temperatuur zoveel mogelijk <15°C blijft.

Overig/in ontwikkeling

- Ziektewerende gronden tegen knolvoet zijn bekend (Dixon, 2014), maar hebben nog niet geleid tot praktische toepassingen. Ze hebben een biologische oorzaak, want steriliseren leidt tot verlies van de ziektewerende eigenschappen.

Niet effectief

- Effecten van calciumcyanamide hebben bijzondere belangstelling gehad (Dixon, 2012, 2017). Het verhoogt de pH en stimuleert tegen knolvoet antagonistische micro-organismen, en heeft een nevenwerking tegen onkruiden en pathogene schimmels. Het middel is duur, en niet toegestaan in de biologische landbouw. Voor zover bekend is calciumcyanamide niet in Nederland getest*^{CC}.
- Sommige gewassen lijken de kieming van rustsporen te stimuleren, zoals Engels raaigras (*Lolium perenne*), maar dit blijkt in het veld niet tot een meetbare bestrijding te leiden (Friberg in Wallenhammar et al., 2014).
- Bemesting met boor (B) is wel gesuggereerd (Dixon, 2010), maar effecten lijken niet reproduceerbaar, en bij de benodigde niveaus kunnen andere gewassen in de rotatie schade lijden (Deora et al., 2014).
- Biochar kon wel de pH van de bodem verhogen maar had geen effect op knolvoet (Knox et al., 2015).
- Van biologische bestrijding met *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 (Serenade) en *Gliocladium catenulatum* J1446 (Prestop) worden wisselende resultaten gemeld, met in het algemeen betere resultaten bij experimenten onder gecontroleerde omstandigheden (bv. Lahlali et al. (2013) in koolzaad). Vaak werken ze wel in vitro, maar stellen ze teleur in veldproeven (Dixon, 2014). Een grote screening met 5000 testen van microbiële isolaten uit de bodem leverde geen resultaat op (Peng et al., 2014). Bij een zware besmetting bleken directe bestrijdingsmaatregelen (Serenade, Prestop, fungiciden) onvoldoende effectief (Peng et al., 2014).
- In Japan is onderzoek gedaan naar de capaciteit van de schimmel-endofiet *Heteroconium chaetospora* die in Brassica voorkomt. Deze kan onder niet al te vochtige bodemomstandigheden en niet al te hoge pathogeendichtheden een forse bestrijding teweeg te brengen (Narisawa et al., 2005). Meer recent is gesuggereerd dat dit komt door geïnduceerde resistentie (Lahlali et al., 2014). Verder zou de schimmel voor wat betreft de plantenvoeding ten dele de functie van arbusculaire mycorrhiza overnemen, die brassica's niet hebben (Usuki & Narisawa, 2007). Sindsdien is over dit onderwerp geen onderzoek meer gepubliceerd.

2.3.4 *Pythium ultimum* groep (omvalziekte en wortelrot; oömyceet)

Lit. Martin & Loper (1999).

<i>Pythium ultimum</i> s.l.	
Akkerbouw	
aardappel	?
cichorei	?
granen	?
koolzaad	?
maïs	?
peen	?
peulvruchten	?
suikerbiet	?
ui	?
overige	?
Groenbemers	
grassen	•
overige	•?

Met *Pythium ultimum* wordt gewoonlijk een groep van soorten bedoeld die nauw aan elkaar verwant zijn, waaronder *P. debaryanum* en *P. irregulare*. Deze soorten worden hier gezamenlijk behandeld. Het zijn oömyceten (schimmelachtigen) van koelere gronden¹⁵. Ze hebben een zeer brede waardplantenreeks, maar granen, maïs en gras zijn geen waardplant¹⁶. De groep van *P. ultimum* kan wegval veroorzaken van kiemplanten of verzwakte planten van allerlei gewassen. Daarnaast kan het ook volwassen planten aantasten, zoals de knollen van aardappel (waterrot), bladeren van suikerbiet (weinig van belang) en rot van uienwortels¹⁷. Onder voor het pathogeen gunstige omstandigheden kan *Pythium* zich explosief verspreiden.

P. ultimum is vooral een opportunist die kiemplanten en verzwakte planten aantast. Op ondergewerkte groene gewasresten kan *Pythium* zich kortstondig explosief vermeerderen (Lamichhane et al., 2017), vooral als de grond nat, maar niet geheel verzadigd is (Lifshitz & Hancock, 1983). De door *Pythium* gevormde zoösporen zijn voor hun beweging afhankelijk van water (Pieczarka & Abawi, 1978c). Ook op wortels van gescheurd gras kan *Pythium* goed groeien (Pankhurst et al., 1995). De overlevingsstructuren, de oösporen, kunnen langere tijd een waardplantloze periode overleven, gewoonlijk maximaal 2 jaar in veldgrond (zie Martin & Loper, 1999); in luchtdroge grond kan de overleving veel langer zijn (Hoppe, 1966). Andere structuren van *Pythium* gaan in een luchtdroge grond snel achteruit. Het toevoegen van stabiele vormen van organische stof (zoals rijpe compost) stimuleert daarentegen *Pythium* niet (zie Martin & Loper, 1999). Als deze organische stof wel het overige microbiële leven stimuleert, dan kan het *Pythium* onderdrukken. Dit laatste kan dan weer teniet gedaan worden door te natte grond. Effecten van toedienen van organische stof om *Pythium* te onderdrukken hebben de sterkste werking onder omstandigheden van een laag organische-stofgehalte van de bodem.

Kiemplanten hebben vaak nog nauwelijks resistentie ontwikkeld en kunnen daardoor makkelijk ten prooi vallen als de omstandigheden voor *Pythium* gunstig zijn (vooral vochtige bodem). Bovendien neemt de vatbaarheid en/of gevoeligheid van planten toe bij lage zuurstofconcentraties, wat samengaat met natte bodems. In aardappel is het belangrijk om beschadiging van de knollen tijdens de oogst te vermijden. *Pythium* kan slecht tegen concurrentie. Besmetting van zaaizaad is mogelijk. Er zijn ziekteverende gronden tegen *Pythium* bekend (Whipps & Lunsdem, 1991; Martin & Loper, 1999), maar niet uit W-Europa. Uit een recente studie blijkt dat het lastig is om verschillen in mate van ziekteverendheid tussen verschillende gronden in Europa te verklaren; de hoeveelheid labiele organische stof, die makkelijk opneembaar is door het bodemleven, lijkt een rol te spelen, maar is zeker niet de enige factor (Bongiorno et al., 2019).

¹⁵ In warmere gronden, waaronder in Nederland in kasgronden, treedt *Pythium aphanidermatum* op.

¹⁶ Bij granen, maïs en gras komt *Pythium arrhenomanes* voor, maar dit is in Nederland niet van groot belang.

¹⁷ In volwassen peen treedt cavity spot op, die wordt veroorzaakt door *Pythium violae* en *P. sulcatum* (zie par. 2.3.5).

Maatregelen bodemgezondheid

- Alle maatregelen die maken dat de plant in goede conditie verkeert, waaronder goede afwatering en optimale bemesting (Lamicchane et al., 2017). Goede afwatering bemoeilijkt ook de beweging van zoösporen van *Pythium*; bovendien hebben de schimmeldraden, zoösporen en sporangiën een korte levensduur in droge grond.
- Na het onderwerken van groene gewasresten niet direct inzaaien (zie par. 1.3.1)*^{DD}.
- Aanwenden van min of meer stabiele organische stof, zoals rijpe compost. Vooral van belang in gronden met bestaande problemen met *Pythium* en in gronden met een beperkt bodemleven (zoals gronden met een laag organische-stofgehalte).

Overig/in ontwikkeling

- De antagonist *Trichoderma harzianum* T22 (Triatum, Orgapower) is de enige *Trichoderma* die in Nederland voor gebruik in de vollegrond is toegelaten, tegen *Pythium*, *Rhizoctonia solani* en *Fusarium*. In de literatuur is vooral de toepassing in bedekte teelten onderzocht, hoewel in enkele gevallen ook interessante effecten in het veld waargenomen zijn (o.a. Harman, 2000). Het mechanisme hierachter is wellicht indirect: zowel geïnduceerde resistentie als stimulering van groei zijn gerapporteerd (Mastouri et al., 2010). Dit laatste reduceert de periode dat een kiemplant zeer vatbaar is voor *Pythium*.
- Niet-chemische behandeling van zaaizaad (heet water, hete lucht, biologische middelen, electronbehandeling¹⁸) (Lamicchane et al., 2017; Mancini & Romanazzi, 2013).

Niet effectief

- De antagonist *Streptomyces griseoviridis* K61 (Mycostop) is tegen *Pythium* alleen toegelaten in de bedekte teelten. Ook het product Tellus op basis van de antagonist *Trichoderma asperellum* ICC012 en *T. gamsii* ICC080 heeft een toelating tegen *Pythium*, maar alleen in de bedekte teelten. Het product ASPERELLO op basis van de antagonist *Trichoderma asperellum* T34 is toegelaten in vruchtgroenten van Solanaceae en anjer, dus de facto alleen in bedekte teelten.
- Anaerobe grondontsmetting en inundatie zijn niet effectief.

¹⁸ Een kortstondige electrocutie van het zaadoppervlak.

2.3.5 *Pythium violae* & *P. sulcatum* (cavity spot; oömyceet)

	Pythium	
	<i>P. sulcatum</i>	<i>P. violae</i>
	cavity spot	
Akkerbouw		
aardappel	–	–
cichorei	?	?
gerst	–	?
haver	–	?
hennep	?	?
koolzaad	?	?
luzerne	?	•
maïs	–	–
rogge	–	•
triticale	?	?
suikerbiet	–	•
tarwe	–	•
ui	–	–
Groenten		
aardbei	?	?
asperge	?	?
erwt (conserven)	?	–
peen	•••	•
prei	?	?
schorseneer	?	?
sluitkool	–	?
spinazie	•	?
stamslaboon	••	?
veld-/tuinboon		?
witlof	?	–
Bloembollen	?	?
Groenbemesters		
engels raaigras	?	••
italiaans raaigras	?	••
witte klaver	?	–
overig	?	?

Bron: Lamers et al., 2016.

Cavity spot is pleksgewijze wortelrot op peen en wordt veroorzaakt door twee *Pythium*-soorten. Het gaat hier om andere soorten dan die omvalziekte (*Pythium ultimum* groep, par. 2.3.4) veroorzaken. Op zandgrond betreft het vooral *P. sulcatum* en op (lichte) klei *P. violae*. Als 2-3 maanden na zaai de gronden te vochtig zijn bleek de infectie hoger (Saude et al., 2014). De soorten worden hier gezamenlijk behandeld.

Maatregelen bodemgezondheid

- Peen is de enig bekende waardplant, maar *P. violae* is als pathogeen uit Californië ook bekend van luzerne en uit Australië van tarwe en rogge. Vele planten worden niet ziek maar kunnen het pathogeen wel in stand houden: kouseband, broccoli, selderij, komkommer, suikerbiet, meloen en bloemkool. Geen handhaving werd gevonden op tomaat, klaver, boon, ui, katoen, aardappelen, maïs, pompoen en erwt. In Nederland is er de ervaring dat uien en in mindere mate witlof als voorgewas cavity spot verminderen (Huiskamp, 1990). Ook aardappel, maïs en witte klaver zijn mogelijk als voorgewas. Lamers et al. (2016) komen tot de conclusie dat vooral engels en italiaans raaigras vermeden moeten worden als voorgewas. Van veel gewassen is nog niet bekend wat het effect is als voorgewas.
- Te vochtige gronden kunnen de aantasting verergeren; het waterdoorlatend vermogen van de grond moet goed dus zijn.

Overig/in ontwikkeling

- Als biologische bestrijding is *Bacillus amoliquefaciens* QST713 (Texio) toegelaten. Een commerciële rapportage over de werkzaamheid bestaat (https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjE1pb9147iAhWDZ1AKHUnrBm8QFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.hdc.org.uk%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FTim%2520Lacey.pdf&usg=AOvVaw2vuhBu-EwwUEvK2I_gtLFN), maar onafhankelijke resultaten zijn niet aangetroffen in de literatuur.
- Van de antagonist *Trichoderma viride* I-1237 is activiteit tegen cavity spot waargenomen (Mounier et al., 2017).

Niet effectief

- Er zijn enige aanwijzingen dat de pH van de bodem een rol speelt: meer ziekte bij pH < 6,5 en ziekte ontbrekend bij pH > 8.0 (Scaife et al., 1983; White, 1988). Deze waarden van pH > 8,0 zijn voor Nederlandse gronden echter niet realistisch.

2.3.6 *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* (poederschurft; protist)

Lit. Balendres (2016).

<i>Spongospora subterranea</i>	
poederschurft	
Akkerbouw	
aardappel	●●R
gras	●●●
overig	?
Groenbemesters	
gras	●●●?
overig	?

Bron: Mulder & Turkensteen, 2008.

Poederschurft tast de knollen van aardappels aan. De rustsporen kunnen extreem lang in de grond overleven. Poederschurft kan ook het Zwabbertopvirus (PMTV) overbrengen en is op lichte gronden algemener dan op kleigronden. Poederschurft wordt veroorzaakt door de protist *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*¹⁹. De ééncellige rustsporen kunnen 20 jaar in de grond in leven blijven. Als wortels van vatbare planten in de buurt zijn kiemen de rustsporen en vormen ze zoösporen, die de wortelharen infecteren. Deze zoösporen kunnen alleen in de grond bewegen als er vrij water aanwezig is. Na infectie worden wratjes van 2-10 mm gevormd aan de wortels, en op de knollen kleine kraters, waarin weer de rustsporen gevormd worden. Er is variatie tussen verschillende isolaten van het pathogeen, maar hierover is onvoldoende informatie.

Maatregelen bodemgezondheid^{*EE}

- Aardappel is, naast tomaat, het enige vatbare gewas. Er is variatie in vatbaarheid (Falloon et al., 2016). In tal van andere gewassen kan poederschurft zich handhaven en zelfs vermenigvuldigen zonder schade te veroorzaken. Vooral gras is hierom bekend. Als aardappelen kort na het scheuren van gras gepoot worden, kunnen heftige infecties optreden (Mulder & Turkensteen, 2008). Onkruiden kunnen waardplant zijn, bv. zwarte nachtschade (Mulder & Turkensteen, 2008; Shah et al., 2010). Gras als groenbemester voor aardappel moet vermeden worden.
- Tegengaan van natte omstandigheden door optimalisatie van de bodemstructuur. Poederschurft heeft een natte omgeving nodig om de wortels te kunnen infecteren.
- Terughoudendheid bij beregening. Op risicopercelen niet meer beregenen dan tot 75% van de watercapaciteit van de grond (Mulder & Turkensteen, 2008) of zelfs minder (Domfeh & Gudmestad, 2016). De natste behandeling had 32% aangetaste knollen en de droogste 15% aangetaste knollen; en de aangetaste knollen waren in de natste behandeling 3× zwaarder aangetast dan de droogste behandeling (Domfeh & Gudmestad, 2016).
- Gedurende enkele maanden zwarte braak voorafgaand aan het potten van aardappelen (Mulder & Turkensteen, 2008).
- Teelt van een cruciferen-groenbemester leidde gemiddeld over 13 veldexperimenten tot onderdrukking van poederschurft (range: 0-45% onderdrukking; 6 van de 13 experimenten waren effectief (Larkin, 2013)^{*FF}.

Andere maatregelen

- Gebruik van resistente rassen.
- Goede bedrijfshygiëne (bij verplaatsing tussen percelen).

Overig/in ontwikkeling

- Toepassing van Fe-EDTA, die kieming van de rustsporen stimuleren (Balendres et al., 2018).

¹⁹ Gewoonlijk wordt volstaan met de naam *Spongospora subterranea* zonder het achtervoegsel "f. sp. *subterranea*", maar er is nog een ander pathogeen die tot dezelfde soort behoort maar alleen op waterkers voorkomt, dit is *S. subterranea* f. sp. *nasturtii*.

Niet effectief

- Het optreden van poederschurft is onafhankelijk van de pH van de bodem.
- Het gebruik van zinkoxide is ineffectief gebleken²⁰.
- Bij een veldproef van SPNA in Klazienaveen (zand, pH 4,9, OM 16%) en Munnekezijl (zeeklei, pH 7,3, organische-stofgehalte 2,2%) werd geen effect gevonden van allerlei maatregelen (zwavelzure ammoniak 21% N, gips, Proradix®, zettingsfosfaat (NPS 13 14 7), NP 9-14, ATS (12% N) en kalkstikstof (20% N)). Er was wel een raseffect (Werkman, 2008).

²⁰ Dit is wel effectief bij bestrijding van *Spongospora subterranea* f. sp. *nasturtii* in waterkers.

2.3.7 *Streptomyces* spp. (aardappelschurft of gewone schurft; bacterie)

	<i>Streptomyces</i> "scabies"
	gewone schurft
Akkerbouw	
aardappel	●●●R
graan	●●●
gras	●●●
koolzaad	–
peen	●
suikerbiet	●
Groenten	
pastinaak	●
koolraap	●
radijs	●
rammenas	●
rode biet	●
schorseneer	●
Groenbemers	
granen	–
grassen	●●●
koolzaad	– –i

Bron: Mulder & Turkensteen, 2008, Bernard et al., 2014; koolzaad: zie tekst.

Aardappelschurft wordt veroorzaakt door diverse bacteriesoorten die tot het geslacht *Streptomyces* behoren. Traditioneel wordt de naam *Streptomyces scabies* gebezigd, maar in praktijk zijn er meer soorten bij betrokken, maar welke dat zijn is niet precies duidelijk. De bacterie tast de schil van de aardappelknol aan, maar levert geen oogstreductie op.

Maatregelen bodemgezondheid

- Grassen en granen ondervinden geen schade, maar kunnen gewone schurft zeer sterk vermeerderen. Andere wortelgewassen kunnen ook door gewone schurft aangetast worden: biet (suikerbiet, rode biet), radijs, peen, schorseneer, pastinaak, rammenas en koolraap. Het is niet duidelijk of het hier altijd gaat om soorten die ook gewone schurft op aardappel kunnen veroorzaken. In ieder geval lijkt schurft op deze gewassen in Nederland van weinig belang te zijn. Koolzaad als groenbemester leidt meestal niet tot verhoging van gewone schurft in aardappel, en soms tot verlaging (Bernard et al., 2014; Larkin et al., 2017). Schurft ontwikkelt pas bij hogere temperaturen (> 19°C), zodat de teelt van grassen en granen in de winter als groenbemester het pathogeen niet bevordert; grassen onder dekvrucht daarentegen zijn wel riskant.
- Granen en grassen moeten als voorvrucht vermeden worden op velden met een schurftbesmetting.
- Infectie heeft plaats via de jonge lenticellen in de knollen onder droge omstandigheden. Is de grond nat, dan treedt infectie niet op, zelfs niet bij zware besmettingen. Op besmette velden wordt daarom aanbevolen om vanaf de knolaanleg tot enkele weken erna te beregenen tot 80% van de veldcapaciteit.
- Op zandgronden is de ziekte agressiever bij pH > 7. Aanbevolen wordt om, afhankelijk van de bodemeigenschappen, hiermee rekening te houden met een juiste bemesting en in ieder geval niet te bekalken. Sterke verzuring van grond met een hoge pH bleek niet effectief (Klikocka et al., 2005).
- De antagonist *Streptomyces griseoviridis* K61 (Mycostop) is toegelaten. De effectiviteit hiervan lijkt te variëren (bv. Hiltunen et al., 2017).

Overig/in ontwikkeling

- Mulder & Turkensteen (2008) noemen *Trichoderma asperellum* als veelbelovende antagonist. Ook aan niet-pathogene *Streptomyces*-stammen wordt gewerkt, waarbij na 3 jaar toedienen een grond ziekteverend werd gemaakt gedurende minimaal 2 jaar erna (Hiltunen et al., 2017). Ook wordt onderzoek gedaan naar andere antagonisten, met wisselende resultaten (Larkin & Tavantzis, 2013).

-
- Visemulsie 2× per jaar toegediend met 1000 of 2000 liter/ha leidde in veldproeven met veldgrond gedurende 4 jaar tot halvering van gewone schurft, maar zodra de toedieningen ophielden was ook het effect geheel verdwenen (Abbasi et al., 2009).
 - Composttoediening lijkt te werken. Niet zozeer het type compost was van belang, doorslaggevend was vooral de hoeveelheid compost-organische stof die aangewend werd, en dan vooral het gehalte aan *particulate organic matter* (= organische stof tussen 0,05 en 2 mm) (Wilson et al., 2018). Sagova-Maretckova (2015) concludeerden dat een lager C-gehalte van de bodem leidt tot onderdrukking van gewone schurft, maar zij baseren hun waarnemingen op slechts twee velden.
 - Teelt van een cruciferen-groenbemester leidde gemiddeld over 54 veldexperimenten tot onderdrukking van gewone schurft, maar soms was er ook bevordering (range: 25% bevordering tot 45% onderdrukking; 22 van de 54 experimenten waren effectief (Larkin, 2013).
 - Er zijn aanwijzingen dat verenmeel (8,6 ton/ha) en ammoniumlignosulfonaat (5 ton d.s./ha) gewone schurft meer dan halveert. Verenmeel had bovendien een onderdrukkend effect op lakschurft (Lazarovits et al., 2008). Soltani et al. (2002) vond vergelijkbare effecten van 6 ton d.s./ha ammoniumlignosulfonaat: op 6 van de 7 locaties werd gewone schurft sterk gereduceerd, op 1 locatie was geen effect. Ook *Verticillium dahliae* werd meer dan gehalveerd*^{GG}.
 - Ook wordt onderzoek gedaan naar andere antagonisten, met wisselende resultaten (Larkin & Tavantzis, 2013).

Niet effectief

- Grondbewerking had geen effect (Griffin et al., 2009; mond. meded. Postma, 2019).

3 Gewassen

In hoofdstuk 2 werden de pathogenen afzonderlijk behandeld. In een gewas moet echter rekening gehouden worden met meerdere pathogenen. Daarbij geldt dat aanwezigheid van meerdere pathogenen in een gewas meer schade betekent. Een bekend voorbeeld is de aanwezigheid van *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) of *Meloidogyne hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje) samen met *Verticillium dahliae* (verticillium). Maar ook de vele schimmels die wortelrot in erwt kunnen veroorzaken kunnen op een dergelijke manier voor meer schade zorgen. Maatregelen die tegen een bepaald pathogeen genomen worden kunnen ook andere pathogenen beïnvloeden (zowel negatief als positief). Daarom wordt in deze paragraaf de informatie over verschillende pathogenen nog een keer zeer kort per gewas (alfabetisch) samengevat. Voor details ten aanzien van allerlei bodemgezondheidsbevorderende maatregelen, en wat wel of niet werkt, wordt verwezen naar de desbetreffende paragraaf per pathogeen. In dit hoofdstuk wordt wel uitgebreider ingegaan op de voetziekten bij peulvruchten. Deze worden veroorzaakt door een breed scala aan bodempathogenen die niet allemaal in hoofdstuk 2 behandeld zijn.

3.1 Aardappelen

Aardappelen nemen een belangrijke plaats in in de vruchtwisseling. Tegelijk zijn er veel ziektes om rekening mee te houden (Mulder & Turkensteen, 2008). Er zijn veel aaltjes waar aardappel sterk vatbaar voor is en waarop veel vermenigvuldiging optreedt. Alleen tegen *Globodera* (aardappelcysteaaltje) is resistentie beschikbaar. Voor het overige is vruchtwisseling en uiteraard een goede hygiëne ter voorkoming van besmetting de belangrijkste maatregel.

Voor *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft) is hygiëne een belangrijke maatregel, met name door het vermijden van besmet pootgoed. *Verticillium dahliae* is een belangrijk pathogeen in aardappel, temeer omdat schade verergert in aanwezigheid van *Pratylenchus* (lesieaaltjes) of *Meloidogyne* (wortelknobbelaaltjes). Overigens zijn ook andere combinaties waargenomen, zoals toename in *Rhizoctonia solani* op plekken met *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) of trichodoriden in Zweden (Björnsell et al., 2017).

Een goede bodemstructuur is van groot belang tegen *Phytophthora erythroseptica* (roodrot) en *Spongospora subterranea* (poederschurft). Op voor *Streptomyces scabies* (gewone schurft) gevoelige gronden dient beregend te worden tijdens de knolzetting.

Wilson et al. (2018, Canada) onderzocht het effect van compost op meerdere ziekten in aardappel. Zij concludeerden dat de hoeveelheid toegediende organische stof het meest belangrijk is en dan met name de stabielere fractie hiervan (in dit onderzoek uitgedrukt als het POM²¹-C-gehalte) tegen *Rhizoctonia solani* (lakschurft) en *Spongospora subterranea* (poederschurft). Helaas werd dit getest bij zeer hoge compostdoses van 5% (= ca. 100 ton/ha), maar de resultaten geven wellicht aan dat een lange-termijnaanwending bij lagere doses ook een effect kan hebben. Compostaanwending leidde tot verhoging van de pH en daarmee tot toename in aantasting door *Streptomyces scabies* (gewone schurft).

Larkin heeft in de V.S. veel veldproeven gedaan om maatregelen te testen tegen allerlei bodempathogenen. Deze zijn vooral besproken in de inleiding en onder *Rhizoctonia solani* AG 3 (lakschurft). Kort samengevat laat zijn onderzoek zien dat effecten van maatregelen op bodempathogenen in het veld variëren, en dat het zin heeft om meta-analyses te doen waarin een reeks van veldexperimenten wordt samengevat. Zo liet hij zien dat effecten van groenbemesters

²¹ POM = particulate organic matter, d.w.z. grove, meer stabiele organische stof.

weliswaar variëren, maar dat de effecten meestal toch dusdanig groot zijn dat dit voortzetting en intensivering van dit onderzoek zonder meer rechtvaardigt (par. 1.3.1).

3.2 Cichorei

De waardplantstatus van cichorei voor *Ditylenchus destructor* (destructoraaltje) is onbekend*^G. Cichorei is een van de weinige niet-waardplanten van *Meloidogyne chitwoodi* (maïswortelknobbelaaltje). Evenwel is de waardplantstatus voor *M. fallax* niet bekend. Voor *M. hapla* zijn er tegenstrijdige berichten. Er worden wel knobbels aangetroffen maar het is onduidelijk of er ook eieren worden gevormd. Ook is de mate van schade slecht in te schatten^{HH}.

3.3 Granen

Granen spelen een belangrijke rol in de vruchtwisseling, omdat ze niet-waardplant zijn bij tal van bodempathogenen zoals *Meloidogyne hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje), *Rhizoctonia solani* AG2-2 IIB (hoewel de waardplantstatus van rogge en haver nog niet bekend is)*^{II}, en mogelijk ook *Pythium ultimum* (omvalziekte en wortelrot) en *P. sulcatum* en *P. violae* (cavity spot). Bij *Verticillium dahliae* zijn granen een van de meest geschikte keuzes in de vruchtwisseling. Voor diverse andere pathogenen zijn granen evenwel net zo goed waardplant (*Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje); haver en rogge), *Meloidogyne chitwoodi* (maïswortelknobbelaaltje), *M. fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje) en *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje)), en hoewel niet-waardplant, vermenigvuldigt *Streptomyces scabies* (gewone schurft) zich goed op granen en is er ook vermenigvuldiging van *Phytophthora erythroseptica* (roodrot) waargenomen. Haver en in iets mindere mate aardappel en suikerbiet zijn zeer geschikt als voorvrucht voor tarwe tegen *Gaeumannomyces graminis* (tarwehalmdoder).

In een groot literatuuronderzoek (>70 referenties) werd het effect van vruchtwisseling op de tarweopbrengst vergeleken (Angus et al., 2015). Aangezien dit een wereldwijde vergelijking betrof was de variatie groot, maar toch konden de onderzoekers effecten van voorvrucht op de tarweopbrengst kwantificeren. Peulvruchten als voorvrucht verhogen de opbrengst met 1,2 ton/ha, haver met 0,5 ton/ha. De oorzaak van deze productieverhoging is complex, van verlaging van diverse bodempathogenen tot effecten op onkruiden en stikstofvoorziening (bij peulvruchten). Twee jaar geen tarwe verhoogt de opbrengst gemiddeld met 0,2-0,4 ton/ha. Het effect van de voorvrucht is bij een tweede teelt van tarwe bij peulvruchten nog 60% van dat van het 1ste jaar (dus $0,6 \times 1,2 = 0,72$ ton/ha).

3.4 Koolzaad

Bijna alleen winterkoolzaad wordt in Nederland geteeld. *Verticillium longisporum* is algemeen in Nederland, en de schade kan groot zijn, maar hoe groot de schade feitelijk is, is niet bekend*^{JJ}.

Koolzaad kan *Heterodera betae* en *H. schachtii* (bietencysteaaltjes) sterk vermenigvuldigen. Sterke schade treedt alleen op door *H. schachtii* (wit bietencysteaaltje) bij de teelt van zomer koolzaad. De waardplantstatus van koolzaad voor *Meloidogyne chitwoodi* (maïswortelknobbelaaltje), *M. fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje) en *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) is onbekend*^{KK}. Ook is onbekend in hoeverre *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte) zich op koolzaad kan vermenigvuldigen*^{KK}.

3.5 Peen

Peen is zeer vatbaar voor veel bodempathogenen, en vermeerdert deze vaak ook sterk (*Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje), diverse *Meloidogyne*-soorten (wortelknobbelaaltje), *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltjes), diverse andere vrijlevende aaltjes (*Paratrichodorus pachydermus*, *P. teres*, *Trichodorus primitivus*), *Paratylenchus bukowinensis*, *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte) en cavity spot (*Pythium sulcatum* en *P. violae*). Voor *Verticillium dahliae* is peen weinig gevoelig en een beperkte vermeerderaar. Cavity spot is een specifieke peenziekte waarbij het waterdoorlatend vermogen van de bodem optimaal dient te zijn. Zie verder bij cavity spot (par. 2.3.5).

3.6 Peulvruchten

Van peulvruchten is bekend dat er een heel scala aan pathogenen tegelijk wortelrot kan veroorzaken. Ongeveer 25 jaar geleden maakte Oyarzun (1994) in Nederland een uitgebreide inventarisatie van de oorzaak van wortelrot in erwt. Het bleek te gaan om een heel scala van veroorzakers, waaronder *Aphanomyces euteiches*, *Chalara elegans* (= *Thielaviopsis basicola*), *Didymella pinodella* (= *Phoma medicaginis* var. *pinodella*), *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Ilyonectria destructans* (= *Cylindrocarpon destructans*), *Peyronellaea pinodes* (= *Mycosphaerella pinodes*) en *Rhizoctonia solani* (Oyarzun et al., 1993). Hiervan bleken *Aphanomyces euteiches*, *Chalara elegans* en *Fusarium solani* f. sp. *pisi* de belangrijkste. De rot treedt op bij zowel jonge als oudere planten (Oyarzun, 1994). Dit geldt ook voor *Pythium ultimum* (Pieczarka & Abawi, 1978b), die zich bij veel andere planten beperkt tot het kiemplantenstadium (par. 2.3.4). Buitenlands onderzoek heeft het bestaan van zo'n complex van pathogenen die betrokken is bij wortelrot van peulvruchten bevestigd (bv. Gaulin et al., 2007; Heyman et al., 2013; Chatterton et al., 2019; Pieczarka & Abawi, 1978a), waarbij ook *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) genoemd wordt. Bij erwt en tuinboon is recent een nieuwe *Phytophthora*-soort toegevoegd aan dit complex, *Phytophthora pisi* (Heyman et al., 2013). Daarnaast is er ook nog een hele reeks aaltjes die schade kan toebrengen aan peulvruchten, met als belangrijkste soorten *Heterodera betae* (geel bietencysteaaltje), *H. goettingiana* (erwtencysteaaltje), *Meloidogyne* (wortelknobbelaaltje excl. *M. naasi* (graswortelknobbelaaltje) en *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje).

Waar welk pathogeen zich ontwikkelt en hoe deze zich gedraagt is sterk grondsoortafhankelijk (Oyarzun et al., 1997, 1998). Sterilisatie van de grond leidde na toediening van het pathogeen tot meer ziekte, wat aangeeft dat er sprake is van biologische ziektevering (Oyarzun et al., 1998). Het gezamenlijk optreden van meerdere soorten wortelrotschimmels kan leiden tot meer schade (Wilsey et al., 2018). Het lijkt erop dat erwt de meest vatbare peulvrucht is voor wortelrot, maar ook andere peulvruchten kunnen veel schade ondervinden.

Het feit dat zo veel bodempathogenen wortelrot in peulvruchten kunnen veroorzaken maakt een ruime vruchtwisseling onontkoombaar. Resultaten van vruchtwisselingsonderzoek hangen af van de pathogenen die bij de respectievelijke onderzoeken betrokken waren. Zo bleek dat minimaal twee jaar tarwe nodig was om de teelt van boon mogelijk te maken (Maloy & Burkholder, 1959), en in een ander onderzoek drie jaar haver (Natti, 1965). Drie jaar braak bleek niet effectief (Natti, 1965). Het vermijden van te natte gronden is goed tegen wortelrot en meer specifiek tegen *Pythium ultimum* en *Rhizoctonia solani*. Waarschijnlijk speelt verbetering van de conditie van het gewas hier een belangrijke rol. Harveson et al. (2005) vonden dat alle grondbewerkingen die de bodemstructuur verbeteren minder aantasting van bonen door *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* te zien gaf. Ook in afwezigheid van bodempathogenen staat erwt bekend om zijn gevoeligheid voor een slechte bodemstructuur, zowel met betrekking tot een verdichte ploegzool als de doorwortelbaarheid (Pabin et al., 1998; Vocanson et al., 2006; Vocanson & Jeuffroy, 2008). Het zou, ook voor andere bodempathogenen waar bodemstructuur van belang is, de moeite waard zijn om na te gaan in welke range van bodemverdichting de problemen spelen, en hoe de aanwezigheid van bodempathogenen hierbij een rol speelt. Zijn subtiele niveaus van bodemverdichting van belang of speelt het pas vanaf waar bodemverdichting met het oog waar te nemen is?*^{LL}

In een kasproef met veldgrond vonden Abawi & Widmer (2000) grote variatie van het inbrengen van gewasresten op het optreden van wortelrot in boon. Koolzaad lijkt een onderdrukkend effect te hebben (Abawi & Widmer, 2000). Gezien de omvang van het pathogenencomplex dat wortelrot bij peulvruchten kan veroorzaken lijkt het lastig om groenbemesters te vinden die dit in zijn geheel kunnen onderdrukken.

Door interesse in natuurlijke stikstofbinding en mengteelt is er momenteel meer aandacht voor peulvruchten. De verwachting is dat daarmee ook problemen met bodempathogenen zullen toenemen. Ontwikkeling van een biotoets tegen wortelrot in peulvruchten lijkt nuttig gezien de sterke grondsoortafhankelijkheid*^{MM}.

3.7 Suikerbieten

De belangrijkste informatie over bodempathogenen is te vinden op www.irs.nl.

Van groot belang zijn *Heterodera betae* (geel bietencysteaaltje) en *H. schachtii* (wit bietencysteaaltje), die zich niet alleen op bieten maar ook op andere waardplanten vermenigvuldigen, zoals *H. betae* op peulvruchten. Suikerbieten zijn gevoelig voor alle soorten *Meloidogyne* (wortelknobbelaaltje). *Rhizoctonia solani* AG2-2 IIIB is een grillig pathogeen dat veel schade kan aanrichten. Van belang is hier met name dat de bodemstructuur op orde moet zijn. Ook voor *Aphanomyces cochlioides* geldt dat een goede bodemstructuur essentieel is. *Verticillium dahliae* kan schade aanrichten, maar de vermenigvuldiging van dit pathogeen op suikerbiet is beperkt.

Van *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) ondervindt suikerbiet weinig schade en ook vermenigvuldigt suikerbiet dit aaltje maar in beperkte mate. Suikerbieten zijn geschikt als voorvrucht tegen *Gaeumannomyces graminis* (tarwehalmdoder).

De laatste jaren wordt steeds meer melding gemaakt van koprot in bieten veroorzaakt door het stengelaaltje *Ditylenchus dipsaci*. Nader onderzoek moet uitwijzen of hier voor het stengelaaltje sprake is van het bietenras.

3.8 Uien

Veel schade ondervinden uien van *Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje), *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje), *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (bolrot) en *Sclerotium cepivorum* (witrot). De laatste twee pathogenen zijn specifieke *Allium*-pathogenen. De mate waarin *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* zich op andere gewassen kan vermenigvuldigen is nog onvoldoende bekend*^{NN}.

Uien vermeerderen *Meloidogyne* beperkt, maar kunnen van *M. hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje) en *M. naasi* (graswortelknobbelaaltje) wel veel schade ondervinden.

Uien zijn ongevoelig voor *Rhizoctonia solani* AG2-2 IIIB en AG 3, en ze vermeerderen dit pathogeen ook niet.

4 Witte vlekken

- A. par. 1.2. Verdere ontwikkeling van praktische methoden om bodempathogenen te kwantificeren. Deze methoden stellen de teler in staat om preventief actie te ondernemen. Geldt voor alle bodempathogenen, behalve de aaltjes en *Sclerotium cepivorum* (witrot) en *Verticillium dahliae* (verticillium) waar al toetsen voor zijn, hoewel deze laatste methode momenteel nog betaalbaarder moet worden.
- B. par. 1.3.1. Verschillen in effecten van biofumigatiegewassen tussen Nederlands en buitenlands onderzoek nader bestuderen.
- C. par. 1.3.2. Nieuwe karakteriseringsmethoden van organische stof ontwikkelen en koppelen aan hun ziekteverende vermogen.
- D. par. 1.3.2. Onderzoek naar de relatie tussen biochar en ziekteverendheid. Biochar zal als een van de kandidaten gezien gaan worden om C in de bodem op te slaan, met als doel verlaging van het CO₂-gehalte in de atmosfeer. Tevens nader onderzoek naar agro-ecosysteemfuncties van biochar, waaronder ziekteverendheid, alsmede eventuele negatieve neveneffecten.
- E. par. 1.3.2. Effecten van lignine in combinatie met andere organische-stof toevoegingen onderzoeken.
- F. par. 1.3.3. Onderzoek naar de werkzaamheid van geregistreerde biologische middelen onder praktijkomstandigheden.
- G. par. 2.1.1. Onderzoek naar de vermeerdering van *Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje) op suikerbiet en naar de waardplantstatus van cichorei voor *Ditylenchus destructor* (destructoraaltje).
- H. par 2.1.1. Effect van cruciferen-groenbemesters op *Ditylenchus dipsaci* (stengelaaltje).
- I. par. 2.1.2. Onderzoek naar de werkzaamheid van inundatie op *Globodera rostochiensis* (geel aardappelcysteaaaltje).
- J. par. 2.1.4. Onderzoek naar de waardplantstatus van *Meloidogyne naasi* (graswortelknobbelaaltje).
- K. par. 2.1.4. Onderzoek naar de werkzaamheid van inundatie tegen *Meloidogyne fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje).
- L. par. 2.1.4. Onderzoek naar de mogelijkheid van inzetten van Blauwplaatstrofaria ter bestrijding van wortelknobbelaaltjes.
- M. par. 2.1.5. Onderzoek of schade door trichodoriden kan worden verminderd door daar waar mogelijk in het voorjaar de grondwaterstand te verlagen.
- N. par. 2.1.7. Nader onderzoek naar de ziekteonderdrukkende werking van compost tegen *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje), afhankelijk van het type en de samenstelling van compost.
- O. par. 2.1.7. Onderzoek naar het mechanisme van vermindering van schade in uien door *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) wanneer de bouwvoor voor of tijdens het zaaien wordt ingedrukt.
- P. par. 2.2.1. De vermenigvuldiging van *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (bolrot in ui) op andere gewassen dan de waardplanten is onvoldoende bekend.
- Q. par. 2.2.1. Voortzetting van onderzoek naar effecten van diverse groenbemesters op *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (bolrot in ui).
- R. par. 2.2.4. Het leggen van een kwantitatieve maat voor bodemstructuur in het najaar die de ziekteontwikkeling van *Rhizoctonia solani* AG2-1 en AG 2-2 IIIB in het volgende gewas voorspelt.
- S. par. 2.2.4. Effect van specifieke organische stoffen zoals chitine en keratine in combinatie met gerichte maatregelen die de bodemstructuur verbeteren op *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB.
- T. par. 2.2.4. Praktijkonderzoek naar het effect van groenbemesters op de schimmel-etende bodemfauna en lakschurft (*Rhizoctonia solani* AG 3).
- U. par. 2.2.4. Kan inwerken van winterkoolzaad leiden tot actieve onderdrukking van *Rhizoctonia solani* AG 3?

-
- V. par. 2.2.5. De overleving van *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte), maar ook van andere bodempathogenen, in het maagdarkanaal van vee is onvoldoende bekend.
- W. par. 2.2.5. De waardplantstatus van *Sclerotinia minor*.
- X. par. 2.2.5. Onderzoek naar het effect van de wijze van inwerken van met *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte) besmet plantenmateriaal.
- Y. par. 2.2.6. Onderzoek naar de werkzaamheid van inundatie en anaerobe grondontsmetting tegen *Sclerotium cepivorum* (witrot).
- Z. par. 2.2.7. Nagaan of *Verticillium longisporum* microsclerotiën kan vormen op broccoli.
- AA. par. 2.2.7. Gecombineerd effect onderzoeken van chitine en lignine op *Verticillium dahliae* en andere plantenpathogenen.
- BB. par. 2.3.1. Onderzoeken of gele mosterd als groenbemester *Aphanomyces euteiches* onderdrukt.
- CC. par. 2.3.3. Perspectieven van toepassing van calciumcyanamide onderzoeken tegen *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet).
- DD. par. 2.3.4. Het tijdstip van inwerken van een groenbemester kan optreden van *Pythium ultimum* sterk bevorderen. De mate waarin dit van belang is in het veld is onvoldoende bekend.
- EE. par. 2.3.6. Testen of een combinatie van maatregelen aantasting door *Spongospora subterranea* (poederschurft) inderdaad vermindert.
- FF. par. 2.3.6. Testen van het effect van cruciferen-groenbemesters op *Spongospora subterranea* (poederschurft).
- GG. par. 2.3.7. Praktijkonderzoek naar het effect van specifieke vormen van organische stof op *Streptomyces scabies* en verwante pathogenen (gewone schurft).
- HH. par. 3.2. Waardplantstatus van cichorei voor *Meloidogyne fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje) en *M. hapla* (noordelijk wortelknobbelaaltje) vaststellen.
- II. par. 3.3. Waardplantstatus van rogge en gerst voor *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB vaststellen.
- JJ. par. 3.4. Het belang van *Verticillium longisporum* in koolzaad vaststellen.
- KK. par. 3.4. Waardplantstatus van koolzaad voor *Meloidogyne chitwoodi* (maïswortelknobbelaaltje), *M. fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje) en *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje) vaststellen. Idem de mate waarin *Sclerotinia sclerotiorum* (rattenkeutelziekte) zich op koolzaad kan vermenigvuldigen.
- LL. par 3.6. Kwantitatieve relatie vaststellen tussen bodemverdichting, bodempathogenen en erwt (en andere peulvruchten). Deze relatie is ook interessant voor bodempathogenen op andere gewassen, maar voor erwt is deze interessant omdat het gewas ook zonder bodempathogenen behoorlijk gevoelig is voor bodemverdichting.
- MM. par. 3.6. Introductie biotoets voor wortelrot in peulvruchten.
- NN. par. 3.8. Mate waarin *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* zich kan vermenigvuldigen op andere gewassen dan ui vaststellen.

5 Conclusies

In Tabel 6 zijn de belangrijkste maatregelen weergegeven tegen de hier behandelde bodempathogenen. In een door bodempathogenen aangetast gewas zijn effectieve bestrijdingsmaatregelen niet beschikbaar. Preventie is daarmee de belangrijkste maatregel. Vruchtwisseling is een vorm van preventie, waarbij doel is het pathogeen uit te putten. In enkele gevallen is vruchtwisseling de enige mogelijkheid (*Ditylenchus destructor* (destructoraaltje), *Heterodera goettingiana* (erwtencysteaaltje; par. 3.6) en *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (bolrot in ui)). Uitgezonderd *Ditylenchus destructor* (destructoraaltje) zijn dit bodempathogenen die zeer lang in de bodem kunnen overleven. Verspreiding naar andere percelen via machines moet daarom worden vermeden door een goede hygiëne. Hygiëne is hoe dan ook een essentiële maatregel om de verspreiding van alle bodempathogenen zo veel mogelijk te beteugelen.

Bij sommige bodempathogenen kan vruchtwisseling lastig zijn vanwege de enorm brede waardplantenreeks, zoals bij *Meloidogyne chitwoodi* (maïswortelknobbelaaltje), *M. fallax* (bedrieglijk maïswortelknobbelaaltje) en *Pratylenchus penetrans* (wortellesieaaltje). Voor *P. penetrans* is er de mogelijkheid van een actieve bestrijding door middel van een zomerteelt met *Tagetes patula* (afrikaantje), maar deze vermenigvuldigt wel trichodoride-aaltjes.

Als tweede belangrijke optie die in dit literatuuronderzoek duidelijk naar voren komt is het werken aan een goede bodemstructuur. Deze is vooral van belang voor de meeste oömyceten en protisten, en voor *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB. Een slechte bodemstructuur werkt tweemaal negatief voor een vatbaar gewas: ten eerste zal in een te natte grond de conditie van het gewas achterblijven, wat het gevoeliger maakt voor veel pathogenen, en ten tweede zijn betreffende pathogenen in natte grond actiever. De oömyceten (*Aphanomyces*, *Phytophthora*, *Pythium*), de protisten *Plasmodiophora brassicae* (knolvoet) en *Spongospora subterranea* (poederschurft) vormen in hun levenscyclus sporen met een zweepdraad, die voor hun voortbestaan en beweging afhankelijk zijn van vrij water. Het is niet zo dat in gronden met een goede bodemstructuur met goed waterdoorlatend vermogen er geen problemen zullen zijn, alleen zullen ze minder heftig zijn.

Wat tot slot opvalt in Tabel 6 is dat er maar betrekkelijk weinig andere maatregelen beschikbaar zijn. Weliswaar wordt er veel gewerkt aan effecten van compost, specifieke organische stoffen en biologische bestrijding, maar er is op dit moment weinig wat als bewezen effectief gezien kan worden.

Er lijken veel opties te zijn op het terrein van groenbemesters, specifieke organische stoffen en biologische bestrijders. Bij groenbemesters is er toenemende aandacht voor resistenties tegen specifieke aaltjes en gecombineerde resistenties, waardoor er meer opties komen om gronden gericht te laten uitzielen. Veel werk is en wordt gedaan aan specifieke organische stoffen. De variatie in effecten is hoog, maar resultaten zijn tegelijkertijd ook moedgevend. Een belangrijk aspect is de prijs van de stoffen. Mogelijk zijn er opties om specifieke organische stoffen betaalbaar te krijgen door te kijken naar rijen- of potertoepassingen, en te kijken naar effecten van deeltjesgrootte. De ontwikkelingen van biologische bestrijding van bodempathogenen zijn onzeker. Enerzijds is er een aantal toegelaten middelen, maar in de literatuur zijn bevestigingen dat die middelen inderdaad in de praktijk effectief zijn maar mondjesmaat beschikbaar. Anderzijds zijn er veel biologische middelen in onderzoek. De toepassing wordt belemmerd door kostbare registratieprocedures. De vestiging van biologische middelen in de bodem zal sterk afhangen van temperatuur, vochtgehalte, pH, organische-stofgehalte en overig bodemleven. Daarom zijn in principe mengsels van biologische bestrijdingsmiddelen een betere optie: vestigt de een zich niet, dan doet een ander het wellicht wel. Maar de registratie van zulke mengsels is voornamelijk een gebied van voetangels en klemmen en behoorlijk kostbaar.

Tabel 6 Samenvattende tabel met belangrijkste bodemmaatregelen (zoals beschreven in par. 1.3) tegen de behandelde bodempathogenen. In zwart bewezen, uitgekristalliseerde maatregelen, in rood perspectiefvolle maatregelen waaraan wordt gewerkt; waar niets is vermeld zijn de effecten onvoldoende bekend.

pathogeen	vruchtwisseling														
	grootbesters	niet-specifieke	organische stof	specifieke	organische stof	biologische	bestrijding	grondbewerking	pH	inundatie ¹	anaerobe	grondontsmetting ¹	onkruidbestrijding ²	hygiëne ²	overig
AALTJES															
<i>Ditylenchus destructor</i>	*														
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	*												*		
<i>Globodera rostochiensis</i> , <i>G. pallida</i> Q ³	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	aardappel als vangewas opslag bestrijding is cruciaal
<i>Heterodera schachtii</i>	*	*	*	*	*	*	*						*		
<i>Heterodera betae</i>	*												*		
<i>Meloidogyne chitwoodi</i> Q	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		laat zaaien
<i>Meloidogyne fallax</i> Q	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
<i>Meloidogyne hapla</i>	*												*		
<i>Meloidogyne naasi</i>	*												*		
(Para) <i>Trichodorus</i>	*	*	*	*	*	*	*						*		verlagen grondwater
<i>Paratylenchus bukowinensis</i> , <i>Rotylenchus uniformis</i>	*														
<i>Pratylenchus penetrans</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	grond aandrukken bij uien
SCHIMMELS															
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i>	*												*		
<i>Gaeumannomyces graminis</i>	*							*	*	*	*	*	*	*	inwerken gewastesten; specifieke bemesting ⁴
<i>Plenodomus lingam</i>	*												*		
<i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-1	*							*	*	*	*	*	*		
<i>Rhizoctonia solani</i> AG 2-2 IIIB	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	bevorderen snelle opkomst; oogsten binnen 10 dagen na loofdoen
<i>Rhizoctonia solani</i> AG 3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	dicht gewas vermijden
<i>Sclerotinia minor</i>	*												*		

pathogeen

vruchtwisseling	groenbesters	niet-specifieke	organische stof	specifieke	organische stof	biologische	bestrijding	grondbewerking	pH	inundatie ¹	anaerobe	grondontsmetting ¹	onkruidbestrijding ²	hygiëne ²	overig
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>						*	*	*	*	*	*	*	*		dicht gewas vermijden; wegschoffelen van vruchtlichamen
<i>Sclerotium cepivorum</i>										-			*	*	
<i>Synchytrium endobioticum</i> Q													*	*	
<i>Verticillium dahliae</i>				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Verticillium longisporum</i>				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
BACTERIËN, OÖMYCETEN, PROTISTEN															
<i>Aphanomyces cochlioides</i>								*	*	*	*	*	*	*	op probleempercelen vroeg zaaien
<i>Aphanomyces euteiches</i>			*				*	*	*						
<i>Phytophthora erythroseptica</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	knollen na oogst snel drogen
<i>Plasmiodiophora brassicae</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Pythium ultimum</i> groep					*	*	*	*	*	-	-				niet inzaaien direct na inwerken gewasresten
<i>Pythium violae</i> & <i>P. sulcatum</i>					*	*	*	*	*						
<i>Spongospora subterranea</i>						*	*	*	*					*	voorafgaand zwarte braak; irrigatie beperken
<i>Streptomyces scabies</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	tijdens knolzetting beregenen

¹ Bij inundatie en anaerobe grondontsmetting is de effectiviteit als volgt aangegeven: * = effectief, - = bewezen niet of onvoldoende effectief.

² Aangegeven in die gevallen waar onkruidbestrijding resp. hygiënemaatregelen van wezenlijk belang is.

³ Q = quarantainepathogeen.

⁴ *Gaeumannomyces graminis* (Tarwehalmddoder): bemesting met ammonium is beter dan met nitraat; koper (Cu)-tekort bevordert de ziekte in gerst.

Gezien de grote persistentie van veel bodempathogenen en het niet beschikbaar zijn van één enkele methode om ze te reduceren, begint steeds meer het besef door te dringen dat gekeken moet gaan worden naar een systeembenadering, waarin combinaties van maatregelen onderzocht worden. Zoals Silva et al. (2018) het in een recent literatuuroverzicht over ziekteverendheid tegen aaltjes verwoordde: "We have already considered many situations and aspects involving soil suppressiveness against plant parasitic nematodes in this review. However, none of these components shall act alone to bring a suppressive condition against plant parasitic nematodes. Furthermore, specific suppressiveness can fluctuate over time and usually involved a unique plant pathogenic nematode species." Dus alleen een combinatie van maatregelen kan wellicht leiden tot ziekteverendheid van een bodem. En dan niet alleen een combinatie, maar dan ook nog een voortdurende activiteit, over meerdere jaren. Dit type werk wordt maar weinig gedaan. Voor aardappel heeft de groep van Larkin in de VS wat dit betreft interessant werk gedaan, en hiernaar is daarom op diverse plaatsen in dit literatuuronderzoek aandacht besteed. Zo vonden Bernard et al. (2012) dat compost, koolzaad en biologische bestrijding aanvullende effecten hadden op het microbiële bodemleven.

Het nemen van maatregelen staat op gespannen voet met het niet beschikbaar zijn van detectiemethoden ter kwantificering van de bodembesmetting van veruit de meeste bodempathogenen, exclusief de aaltjes. Zolang zulke detectiemethoden nog niet beschikbaar zijn is het nauwkeurig bijhouden van de teler van optredende bodemgebonden ziekten en plagen (vastleggen met GPS) noodzakelijk.

Literatuur

- Abawi, G.S., Widmer, T.L. 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology* 15: 37-47.
- Abbasi, P.A. 2013. Establishing suppressive conditions against soilborne potato diseases with low rates of fish emulsion applied serially as a pre-plant soil amendment. *Canadian Journal of Plant Pathology* 35: 10-19.
- , Lazarovits, G., Jabaji-Hare, S. 2009. Detection of high concentrations of organic acids in fish emulsion and their role in pathogen or disease suppression. *Phytopathology* 99: 274-281.
- Acharya, J., Bakker, M.G., Moorman, T.B., Kaspar, T.C. 2017. Time interval between cover crop termination and planting influences corn seedling disease, plant growth, and yield. *Plant Disease* 101: 591-600.
- Adams, P.B., Ayers, W.A. 1979. Ecology of *Sclerotinia* species. *Phytopathology* 69: 896-899.
- Adiyaman, T., Schisler, D.A., Slininger, P.J., Sloan, J.M., Jackson, M.A., Rooney, A.P. 2011. Selection of biocontrol agents of pink rot based on efficacy and growth kinetics index rankings. *Plant Disease* 95: 24-30.
- Aghajanzadehdivaei, T. 2015. Sulfur metabolism, glucosinolates and fungal resistance in Brassica. PhD thesis, Groningen University.
- Albarracín Orío, A.G., Brücher, E., Ducasse, D.A. 2016. A strain of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* shows a specific antagonistic activity against the soil-borne pathogen of onion *Setophoma terrestris*. *European Journal of Plant Pathology* 144: 217-223.
- Alexander, S.A., Waldenmaier, C.M. 2002. Suppression of *Pratylenchus penetrans* populations in potato and tomato using African marigolds. *Journal of Nematology* 34: 130-134.
- Almqvist, C., Persson, L., Olsson, Å., Sundström, J., Jonsson, A. 2016. Disease risk assessment of sugar beet root rot using quantitative real-time PCR analysis of *Aphanomyces cochlioides* in naturally infested soil samples. *European Journal of Plant Pathology* 145: 731-742.
- Angus, J.F., Kirkegaard, J.A., Hunt, J.R., Ryan, M.H., Ohlander, L., Peoples, M.B. 2015. Break crops and rotations for wheat. *Crop & Pasture Science* 66: 523–552.
- Arvalis, Institut du végétal. 2010. Le test *Aphanomyces*. <https://www.arvalis-infos.fr/file/galleryelement/pj/b1/1d/5b/1a/aphanomyces6791665576336462135.pdf>.
- Balendres, M.A., Tegg, R.S., Wilson, C.R. 2016. Key events in pathogenesis of *Spongospora* diseases in potato: a review. *Australasian Plant Pathology* 45: 229-240.
- , Clark, T.J., Tegg, R.S., Wilson, C.R. 2018. Germinate to exterminate: chemical stimulation of *Spongospora subterranea* resting spore germination and its potential to diminish soil inoculum. *Plant Pathology* 67: 902-908.
- Baturo-Cieśniewska, A., Łukanowski, A., Koczwara, K., Lenc, L. 2018. Development of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary on stored carrot treated with *Pythium oligandrum* Drechsler determined by qPCR assay. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 17: 111-121.
- Baum, C., El-Tohamy, W., Gruda, N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae* 187: 131-141.
- Beeman, A.Q., Njus, Z.L., Pandey, S., Tylka, G.L. 2019. The effects of ILeVO and VOTIVO on root penetration and behavior of the Soybean Cyst Nematode, *Heterodera glycine*. *Plant Disease* 103: 392-397.
- Bender, S.F., Schlaeppli, K., Held, A., Van der Heijden, M.G.A. 2019. Establishment success and crop growth effects of an arbuscular mycorrhizal fungus inoculated into Swiss corn fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 273: 13-24.
- Benson, J.H., Geary, B., Miller, J.S., Jolley, V.D., Hopkins, B.G., Stevens, M.R. 2009a. *Phytophthora erythroseptica* (Pink Rot) development in Russet Norkotah potato grown in buffered hydroponic solutions I. Calcium nutrition effects. *American Journal of Potato Research* 86: 466-471.
- , Geary, B., Miller, J.S., Hopkins, B.G., Jolley, V.D., Stevens, M.R. 2009b. *Phytophthora erythroseptica* (Pink Rot) development in Russet Norkotah potato grown in buffered hydroponic solutions II. pH Effects. *American Journal of Potato Research* 86: 472-475.

- Ben-Yephet, Y., Genizi, A., Siti, E. 1993. Sclerotial survival and apothecial production by *Sclerotinia sclerotiorum* following outbreaks of lettuce drop. *Phytopathology* 83: 509-513.
- Bernard, E., Larkin, R.P., Tavantzis, S., Erich, M.S., Alyokhin, A., Sewell, G., Lannan, A., Gross, S.D. 2012. Compost, rapeseed rotation, and biocontrol agents significantly impact soil microbial communities in organic and conventional potato production systems. *Applied Soil Ecology* 52: 29-41.
- , Larkin, R.P., Tavantzis, S., Erich, M.S., Alyokhin, A., Gross, S.D. 2014. Rapeseed rotation, compost and biocontrol amendments reduce soilborne diseases and increase tuber yield in organic and conventional potato production systems. *Plant & Soil* 374: 611-627.
- Björnsell, P., Edin, E., Viketoft, M. 2017. Interactions between some plant-parasitic nematodes and *Rhizoctonia solani* in potato fields. *Applied Soil Ecology* 113: 151-154.
- Blenis, P.V., Chow, P.S. 2005. Evaluating fungi from wood and canola for their ability to decompose canola stubble. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 259-267.
- Boine, B., Renner, A.C., Zellner, M., Nechwatal, J. 2014. Quantitative methods for assessment of the impact of different crops on the inoculum density of *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIIB in soil. *European Journal of Plant Pathology* 140: 745-756.
- Bonanomi, G., Antignani, V., Pane, C., Scala, F. 2007a. Invited review suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology* 89: 311-324.
- , Antignani, V., Pane, C., Scala, F. 2007b. Annex suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology* 89: 325-340.
- , Antignani, V., Capodilupo, M., Scala, F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 136-144.
- , Ippolito, F., Scala, F. 2015. A “black” future for plant pathology? Biochar as a new soil amendment for controlling plant diseases. *Journal of Plant Pathology* 97: 223-234.
- , Cesarano, G., Lombardi, N., Motti, R., Scala, F., Mazzoleni, S., Incerti, G. 2017. Litter chemistry explains contrasting feeding preferences of bacteria, fungi, and higher plants. *Scientific Reports* 7: 9208.
- , Ippolito, F., Cesarano, G., Vinale, F., Lombardi, N., Crasto, A., Woo, S.L., Scala, F. 2018. Biochar chemistry defined by ¹³C-CPMAS NMR explains opposite effects on soilborne microbes and crop plants. *Applied Soil Ecology* 124: 351-361.
- , Lorito, F., Vinale, F., Woo, S.K. 2018. Organic amendments, beneficial microbes, and soil microbiota: Toward a unified framework for disease suppression. *Annual Review of Phytopathology* 56: 1-20.
- Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E.K., Brussaard, L., de Goede, R.G.M., Mäder, P., Tamm, L., Thuerig, B. 2019. Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 133: 174-187.
- Brayford, D. 1996. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*. IMI Descriptions of Fungi and Bacteria No. 1263. *Mycopathologia* 133: 39-40.
- Brewer, M.T., Larkin, R.P. 2005. Efficacy of several potential biocontrol organisms against *Rhizoctonia solani* on potato. *Crop Protection* 24: 939-950.
- Buczacki, S.T. 1988. *Plasmodiophora brassicae*. pp. 243-245 in: I.M. Smith et al. (eds), *European Handbook of Plant Diseases*. Blackwell Scientific Publications.
- Bunbury-Blanchette, A.L., Walker, A.K. 2019. *Trichoderma* species show biocontrol potential in dual culture and greenhouse bioassays against *Fusarium* basal rot of onion. *Biological Control* 130: 127-135.
- Buschgens, E. 2018. Stengelaal blijft een lastig verhaal. *Greenity* 7 juni 2018: 36-37.
- Cesarano, G., De Filippis, F., La Stora, A., Scala, F., Bonanomi, G. 2017. Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility and microbiome composition. *Applied Soil Ecology* 120: 254-264.
- Chatterton, S., Harding, M.W., Bowness, R., McLaren, D.L., Banniza, S., Gossen, B.D. 2019. Importance and causal agents of root rot on field pea and lentil on the Canadian prairies, 2014–2017. *Canadian Journal of Plant Pathology* 41: 98-114.
- Clarkson, J.P., Scruby, A., Mead, A., Wright, C., Smith, B., Whipps, J.M. 2006. Integrated control of *Allium* white rot with *Trichoderma viride*, tebuconazole and composted onion waste. *Plant Pathology* 55: 375-386.
- , Debode, J., Furlan, L., Neilson, R., Wallenhammer, A.C., Zahrl, J. 2014 (?). Mini-paper – Monitoring of soil-borne pathogens (fungi, protists and nematodes) and soil test. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/7_eip_sbd_mp_monitoring_final_0.pdf.

- Coley-Smith, J.R. 1988. *Sclerotium cepivorum* Berk. pp. 446-447 in I.M. Smith et al. (eds): European Handbook of Plant Diseases. Blackwell Scientific Publications.
- , Mitchell, C.M., Sansford, C.E. 1990. Long-term survival of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* and *Stromatinia gladioli*. *Plant Pathology* 39: 58-69.
- Cook, R.J., Haglund, W.A. 1991. Wheat yield depression associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil not phytotoxins from the straw. *Soil Biology & Biochemistry* 23: 1125-1132.
- Copley, T.R., Aliferis, K.A., Jabaji, S. 2015. Maple bark biochar affects *Rhizoctonia solani* metabolism and increases damping-off severity. *Phytopathology* 105: 1334-1346.
- Coventry, E., Noble, E., Mead, A., Marin, F.R., Perez, J.A., Whipps, J.M. 2006. Allium white rot suppression with composts and *Trichoderma viride* in relation to sclerotia viability. *Phytopathology* 96: 1009-1020.
- Cretoi, M.S., Korthals, G.W., Visser, J.H.M., van Elsas, J.D. 2013. Chitin amendment increases soil suppressiveness toward plant pathogens and modulates the actinobacterial and oxalobacteraceal communities in an experimental agricultural field. *Applied and Environmental Microbiology* 79: 5291-5301.
- Curto, G., Dallavalle, E., Matteo, R., Lazzeri, L. 2016. Biofumigant effect of new defatted seed meals against the southern root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Annals of Applied Biology* 169: 17-26.
- D'Hose, T., Ruyschaert, G., Viaene, N., Debode, J., Vanden Nest, T., van Vaerenbergh, J., Cornelis, W., Willekens, K., Vandecasteele, B. 2016. Farm compost amendment and non-inversion tillage improve soil quality without increasing the risk for N and P leaching. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 225: 126-139.
- Dandurand, L.M., Morra, M.J., Zasada, I.A., Phillips, W.S., Popova, I., Harder, C. 2017. Control of globodera spp. Using *Brassica juncea* seed meal and seed meal extract. *Journal of Nematology* 49: 437-445.
- Davis, R.M., Hao, J.J., Romberg, M.K. 2007. Efficacy of germination stimulants of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* for management of white rot of garlic. *Plant Disease* 91: 204-208.
- Dawidziuk, A., Popiel, D., Kaczmarek, J., Strakowska, J., Jedryczka, M. 2016. Optimal *Trichoderma* strains for control of stem canker of brassicas: molecular basis of biocontrol properties and azole resistance. *Biocontrol* 61: 755-768.
- de Boer, W. 2017. Upscaling of fungal-bacterial interactions: from the lab to the field. *Current Opinion in Microbiology* 37: 35-41.
- Debode, J., Clewes, E., de Backer, G., Höfte, M. 2005. Lignin is involved in the reduction of *Verticillium dahliae* var. *longisporum* inoculum in soil by crop residue incorporation. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 301-309.
- Deketelaere, S. 2012. Screening van biologische fungiciden tegen *Rhizoctonia solani* in de bloemkoolteelt. Masterproef, Universiteit Gent.
- Deora, A., Gossen, B.D., Hwang, S.F., Pageau, D., Howard, R.J., Walley, F., McDonald, M.R. 2014. Effect of boron on clubroot of canola in organic and mineral soils and on residual toxicity to rotational crops. *Canadian Journal of Plant Science* 94: 109-118.
- Depotter, J.R.L., Deketelaere, S., Inderbitzin, P., von Tiedemann, A., Höfte, M., Subbarao, K.V., Wood, T.A., Thomma, B.P.H.J. 2016. Pathogen profile *Verticillium longisporum*, the invisible threat to oilseed rape and other brassicaceous plant hosts. *Molecular Plant Pathology* 17: 1004-1016.
- Derbyshire, M.C., Denton-Giles, M. 2016. The control of Sclerotinia stem rot on oilseed rape (*Brassica napus*): current practices and future opportunities. *Plant Pathology* 65: 859-877.
- Dixon, G.R. 2010. Calcium and pH as elements in a coherent control system for clubroot disease (*Plasmodiophora brassicae*). *Acta Horticulturae* 867: 151-156.
- . 2012. Calcium cyanamide - a synoptic review of an environmentally benign fertiliser which enhances soil health. *Acta Horticulturae* 938: 211-217.
- . 2014. Clubroot (*Plasmodiophora brassica* Woronin) – an agricultural and biological challenge worldwide. *Canadian Journal of Plant Pathology* 36: 5-18.
- . 2017. Managing clubroot disease (caused by *Plasmodiophora brassicae* Wor.) by exploiting the interactions between calcium cyanamide fertilizer and soil microorganisms. *Crops and Soils Review. Journal of Agricultural Science* 155: 527-543.
- Domfeh, O., Gudmestad, N.C. 2016. Effect of soil moisture management on the development of Potato Mop-Top Virus-induced tuber necrosis. *Plant Disease* 100: 418-423.

- Dordas, C.A. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 33-46.
- Dutta, T.K., Khan, M.R., Phani, V. 2019. Plant-parasitic nematode management via biofumigation using brassica and non-brassica plants: Current status and future prospects. *Current Plant Biology* 17: 17-32.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Emerson, E., Pulliam, R. 2007. Suppressing plant-parasitic nematodes and arthropod pests with vermicompost teas. *BioCycle* 48 12: 38-39.
- EFSA (European Food Safety Authority), Arena, M., Auteri, D., Barmaz, S., Bellisai, G., Brancato, A., Brocca, D., Bura, L., Byers, H., Chiusolo, A., Court Marques, D., Crivellente, F., De Lentdecker, C., Egsmose, M., Erdos, Z., Fait, G., Ferreira, L., Goumenou, M., Greco, L., Ippolito, A., Istace, F., Jarrah, S., Kardassi, D., Leuschner, R., Lythgo, C., Magrans, J.O., Medina, P., Miron, I., Molnar, T., Nougadere, A., Padovani, L., Parra Morte, J.M., Pedersen, R., Reich, H., Sacchi, A., Santos, M., Serafimova, R., Sharp, R., Stanek, A., Streissl, F., Sturma, J., Szentes, C., Tarazona, J., Terron, A., Theobald, A., Vagenende, B., Verani, A., Villamar-Bouza, L. 2018. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance *Pasteuria nishizawae* Pn1. *EFSA Journal* 16: 5159.
- Eldering, C., den Herder C., Hooijman, P., Persoon, L., Salomons J., Visser, E., Wander, J. 2013. Deskstudie verbetering mogelijkheden groenbemesters + nieuwe groenbemesters 1-61. DLV en Radboud Universiteit.
- Elmer, W. H. 2002. Influence of formononetin and NaCl on mycorrhizal colonization and Fusarium crown and root rot of asparagus. *Plant Disease* 86: 1318-1324.
- Erşahin, Y.Ş., Weiland, J.E., Zasada, I.A., Reed, R.L., Stevens, J.F. 2014. Identifying rates of meadowfoam (*Limnanthes alba*) seed meal needed for suppression of *Meloidogyne hapla* and *Pythium irregulare* in soil. *Plant Disease* 98: 1253-1260.
- Evenhuis, B., Korthals, G.W., Molendijk, L.P.G. 2004. *Tagetes patula* as an effective catch crop for long-term control of *Pratylenchus penetrans*. *Nematology* 6: 877-881.
- Falloon, R.E., Merz, U., Butler, R.C., Curtin, D., Lister, R.A., Thomas, S.M. 2016. Root infection of potato by *Spongospora subterranea*: knowledge review. *Plant Pathology* 65: 422-434.
- Fernando, W.G.D., Nakkeeran, S., Zhang, Y., Savchuk, S. 2007. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary by *Pseudomonas* and *Bacillus* species on canola petals. *Crop Protection* 26: 100-107.
- Forge, T.A., Bittman, S., Kowalenko, C.G. 2005. Impacts of sustained use of dairy manure slurry and fertilizers on populations of *Pratylenchus penetrans* under tall fescue. *Journal of Nematology* 37: 207e213.
- França, S.C., Spiessens, K., Pollet, S., Debode, J., de Rooster, L., Callens, D., Höfte, M. 2013. Population dynamics of *Verticillium* species in cauliflower fields: influence of crop rotation, debris removal and ryegrass incorporation. *Crop Protection* 54: 134-141.
- Gachango, E., Kirk, W., Schafer, R., Wharton, P. 2012. Evaluation and comparison of biocontrol and conventional fungicides for control of postharvest potato tuber diseases. *Biological Control* 63: 115-120.
- Galván, G.A., Parádi, I., Burger, K., Baar, J., Kuyper, T.W., Scholten, O.E., Kik, C. 2009. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands. *Mycorrhiza* 19: 317-328.
- Gamon, A., Lenne, N. 2012. *Meloidogyne chitwoodi* and *Meloidogyne fallax* in France: initial management experiences. *Bulletin* 42: 122-126.
- Gangneux, C., Cannesan, M.-A., Bressan, M., Castel, L., Moussart, A., Vicré-Gibouin, M., Driouch, A., Trinsoutrot-Gattin, I., and Laval, K. 2014. A sensitive assay for rapid detection and quantification of *Aphanomyces euteiches* in soil. *Phytopathology* 104: 1138-1147.
- Gaulin, E., Jacquet, C., Bottin, A., Dumas, B. 2007. Root rot disease of legumes caused by *Aphanomyces euteiches*. *Molecular Plant Pathology* 8: 539-548.
- Gerbore, J., Benhamou, N., Vallance, J., le Floch, G., Grizard, D., Regnault-Roger, C., Rey, P. 2014. Biological control of plant pathogens: advantages and limitations seen through the case study of *Pythium oligandrum*. *Environmental Scientific Pollution Research* 21: 4847-4860.
- Gerlagh, M. 1968. Introduction of *Ophiobolus graminis* into new polders and its decline. PhD thesis, Wageningen Universiteit.

- , Goossen-van de Geijn, H.M., Fokkeman, N.J., Vereijken, P.F.G. 1999. Long-term biosanitation by application of *Coniothyrium minitans* on *Sclerotinia sclerotiorum*-infected crops. *Phytopathology* 89: 141-147.
- , Goossen-van de Geijn, H.M., Hoogland, A.E., Vereijken, P.F.G., Horsten, P.F.M., de Haas, B.H. 2004. Effect of volume and concentration of conidial suspensions of *Coniothyrium minitans* on infection of *Sclerotinia sclerotiorum* sclerotia. *Biocontrol Science & Technology* 14: 675-690.
- Giné, A., Sorribas, F.J. 2017. Effect of plant resistance and BioAct WG (*Purpureocillium lilacinum* strain 251) on *Meloidogyne incognita* in a tomato-cucumber rotation in a greenhouse. *Pest Management Science* 73: 880-887.
- Gómez-Exposito, R.G., de Bruijn, I., Postma, J., Raaijmakers, J.M. 2017. Current insight into the role of rhizosphere bacteria in disease suppressive soils. *Frontiers in Microbiology* 8: 2529.
- González García, V., Portal Onco, M.A., Susan, V.R. 2006. Review. Biology and systematics of the form genus *Rhizoctonia*. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4: 55-79.
- Gossen, B.D., Kasinathan, H., Deora, A., Peng, G., McDonald, M.R. 2016. Effect of soil type, organic matter content, bulk density and saturation on clubroot severity and biofungicide efficacy. *Plant Pathology* 65: 1238-1245.
- Griffin, T.S., Larkin, R.P., Honeycutt, C.W. 2009. Delayed tillage and cover crop effects in potato systems. *American Journal of Potato Research* 6: 79-87.
- Grünwald, N.J., Coyne, C.J. (eds.). 2003. Proceedings of the Second International Aphanomyces Workshop, June 17-18, 2003. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
- Haapalainen, M., Latvala, S., Kuivainen, E., Qiu, Y., Segerstedt, M., Hannukkala, A.O. 2016. *Fusarium oxysporum*, *F. proliferatum* and *F. redolens* associated with basal rot of onion in Finland. *Plant Pathology* 65: 1310-1320.
- Hajji, L., Hlaoua, W., Regaieg, H., Horrigue-Raouani, N. 2017. Biocontrol Potential of *Verticillium leptobactrum* and *Purpureocillium lilacinum* against *Meloidogyne javanica* and *Globodera pallida* on potato (*Solanum tuberosum*). *American Journal of Potato Research* 94: 178-183.
- Harman, G.E. 2000. Myths and dogmas of biocontrol: Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease* 84: 377-393.
- Hartsema, O.H., Koot, P., Molendijk, L.P.G., van den Berg, W., Plentinger, M.C., Hoek, J. 2004. Rotatie-onderzoek *Paratrachodorus teres* (1991-2000). *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*.
- , van der Mheen, H., van den Berg, W., van Gastel, W., Molendijk, L., Hoek, H. 2005. Raketblad (*Solanum sisymbriifolium*) – Teeltaspecten en sanerende werking op aardappelcystealtjes (*Globodera* sp.) 2001-2004. WUR.
- Harveson, R.M., Smith, J.A., Stroup, W.W. 2005. Improving root health and yield of dry beans in the Nebraska Panhandle with a new technique for reducing soil compaction. *Plant Disease* 89: 279-284.
- Hegewald, H., Koblenz, B., Wensch-Dorendorf, M., Christen, O. 2017. Yield, yield formation, and blackleg disease of oilseed rape cultivated in high-intensity crop rotations. *Archives of Agronomy & Soil Science* 63: 1785-1799.
- Heyman, F., Blair, J.E., Persson, L., Wikström, M. 2013. Root rot of pea and faba bean in southern Sweden caused by *Phytophthora pisi* sp. nov. *Phytopathology* 97: 461-471.
- Hicks, E., Bienkowski, D., Braithwaite, M., Mclean, K., Falloon, R., Stewart, A. 2014. *Trichoderma* strains suppress *Rhizoctonia* diseases and promote growth of potato. *Phytopathologia Mediterranea* 53: 502-514.
- Hijri, M. 2016. Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza* 26: 209-214.
- Hiltunen, L.H., Kelloniemi, J., Valkonen, J.P.T. 2017. Repeated applications of a nonpathogenic *Streptomyces* strain enhance development of suppressiveness to potato common scab. *Plant Disease* 1: 9.
- Hoek, H. 2016. Brochure stengelaaltjes. Wageningen Universiteit & Research, Ministerie van Economische zaken en Stichting Veldleeuwerik.
http://www.aaltjesschema.nl/Portals/0/Documenten/Overig/Brochure_Stengelaaltjest%2028%20Nov.2016%20Smallestfilesize.pdf.
- Hofman, T.W., Bollen, G.J. 1987. Effects of granular nematicides on growth and microbial antagonism to *Rhizoctonia solani*. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 93: 201-214.
- . 1988. Effects of granular nematicides on the infection of potatoes by *Rhizoctonia solani*, in *Landbouwwetenschappen*. Landbouwwetenschappen. Landbouwwetenschappen Wageningen.

- Hoitink, H.A.J., Stone, A.G., Han, D.Y. 1997. Suppression of plant disease by composts. *HortScience* 32: 184-187.
- , Boehm, M.J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* 37: 427-446.
- Hoppe, P.E. 1966. *Pythium* species still viable after 12 years in air dried muck soil. *Phytopathology* 56: 1411 (Abstract).
- Hornby, D. 1983. Suppressive soils. *Annual Review of Phytopathology* 21: 65-85.
- Hospers, M., Lamers, J., Cuijpers, W., van den Broek, R. 2015. Samen met ondernemers naar een weerbare bodem. Louis Bolk Instituut en PPO Wageningen.
- Hossain, S., Bergkvist, G., Glinwood, R., Berglund, K., Mårtensson, A., Hallin, S., Persson, P. 2015. Brassicaceae cover crops reduce *Aphanomyces* pea root rot without suppressing genetic potential of microbial nitrogen cycling. *Plant & Soil* 392: 227-238.
- Hovius, M.H.Y., McDonald, M.R. 2002. Management of *Allium* white rot [*Sclerotium cepivorum*] in onions on organic soil with soil-applied diallyl disulfide and di-*N*-propyl disulfide. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24: 281-286.
- Huiskamp, T. 1990. Effects of high cropping frequency on yield and quality of carrots, in XXXIII Intern. Hort. Congress. 1990: Firenze, Italy. p. 529.
- Inderbitzin, P., Ward, J., Barbella, A., Solares, N., Izyumin, D., Burman, P., Chellemi, D.O., Subbarao, K.V. 2018. Soil microbiomes associated with *Verticillium* wilt-suppressive broccoli and chitin amendments are enriched with potential biocontrol agents. *Phytopathology* 108: 31-43.
- Jaaffar, A.K.M., Paulitz, T.C., Schroeder, K.L., Thomashow, L.S., Weller, D.M. 2016. Molecular characterization, morphological characteristics, virulence, and geographic distribution of *Rhizoctonia* spp. in Washington State. *Phytopathology* 106: 459-473.
- Jackson, C.W., Heale, J.B. 1985. Relationship between DNA content and spore volume in sixteen isolates of *Verticillium lecanii* and two new diploids of *V. dahliae* (= *V. dahliae* var. *longisporum* Stark). *Journal of General Microbiology* 131: 3229-3236.
- Jager, G., Velvis, H. 1988. Inactivation of sclerotia of *Rhizoctonia solani* on potato tubers by *Verticillium biguttatum*, a soil-borne mycoparasite. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 94: 225-231.
- , Velvis, H., Lamers, J.G., Mulder, A., Roosjen, J. 1991. Control of *Rhizoctonia solani* in potato by biological, chemical and integrated measures. *Potato Research* 34: 269-284.
- Jordan, S. 2018. Yield to the resistance: The impact of nematode resistant varieties on alfalfa yield. *Natural Resource Modeling* 31(2): e12150.
- Kalkdijk, J.R., Esselink, L.J., Lamers, J.G. 2004. Tolerantie en uitzieking *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* in de teelt van zaaiuien (2002-2004), in Report 5234304. PPO-AGV: Lelystad. pp. 32.
- Kamiski, D.A., Verma, P.R., 1985. Cultural characteristics, virulence, and in vitro temperature effect on mycelial growth of *Rhizoctonia* isolates from rapeseed. *Canadian Journal of Plant Pathology* 7: 256-261.
- Kepenekci, İ., Toktay, H., Oksal, E., Bozbuğa, R., İmren, M. 2018. Effect of *Purpureocillium lilacinum* on root lesion nematode, *Pratylenchus thornei*. *Tarim Bilimleri Dergisi* 24: 323-328.
- Kiewnick, S., Sikora, R.A. 2006. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. *Biological Control* 38: 179-187.
- Kimpinski, J., Gallant, C.E., Henry, R., Macleod, J.A., Sanderson, J.B., Sturz, A.V. 2003. Effect of compost and manure soil amendments on nematodes and on yields of potato and barley: a 7-year study. *Journal of Nematology* 35: 289-293.
- Kinkel, L.L., Schlattler, D.C., Bakker, M.G., Arenz, B.E. 2012. *Streptomyces* competition and co-evolution in relation to plant disease suppression. *Research in Microbiology* 163: 490-499.
- Kirkegaard, J.A., Sarwar, M., Wong, P.T.W., Mead, A., Howe, G., Newell, M. 2000. Field studies on the biofumigation of take-all by *Brassica* break crops. *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 445-456.
- Klikocka, H., Haneklaus, S., Bloem, E., Schnug, E. 2005. Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies*. *Journal of Plant Nutrition* 28: 819-833.
- Knox, O.G.G., Oghoro, C.O., Burnett, F.J., Fountaine, J.M. 2015. Biochar increases soil pH, but is an ineffective as liming at controlling clubroot. *Journal of Plant Pathology* 97: 149-152.
- Köhl, J., Kolnaar, R., Ravensberg, W.J. 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science* 10: 845.

- Kokkoris, V., Li, Y., Hamel, C., Hanson, K., Hart, M. 2019. Site specificity in establishment of a commercial arbuscular mycorrhizal fungal inoculant. *Science of the Total Environment* 660: 1135-1143.
- Koopmans, C., Bloem, J. 2018. Soil quality effects of compost and manure in arable cropping – Results from soil improvers for 17 years in the MAC trial. Louis Bolk Institute.
- Kora, C., McDonald, M.R., Boland, G.J. 2005. Epidemiology of sclerotinia rot of carrot caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 27: 245-258.
- Korthals, G.W., Visser, J.H.M., Molendijk, L.P.G. 2005. Improvement and monitoring soil health. *Acta Horticulturae* 698: 279-284.
- , Thoden, T.C., van den Berg, W., Visser, J.H.M. 2014. Long-term effects of eight soil health treatments to control plant-parasitic nematodes and *Verticillium dahliae* in agro-ecosystems. *Applied Soil Ecology* 76: 112-123.
- Krupinsky, J.M., Bailey, K.L., McMullen, M.P., Gossen, B.D., Turkington, T.K. 2002. Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal* 94: 198-209.
- Kundu, P.K., Nandi, B. 1985. Control of Rhizoctonia disease of cauliflower by competitive inhibition of the pathogen using organic amendments in soil. *Plant & Soil* 83: 357-362.
- Kutcher, H.R., Brandt, S.A., Smith, E.G., Ulrich, D., Malhi, S.S., Johnston, A.M. 2013. Blackleg disease of canola mitigated by resistant cultivars and four-year crop rotations in western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* 35: 209-221.
- Lahlali, R., McGregor, L., Song, T., Gossen, B.D., Narisawa, K., Peng, G. 2014. *Heteroconium chaetospora* induces resistance to clubroot via upregulation of host genes involved in jasmonic acid, ethylene, and auxin biosynthesis. *PLoS ONE* 9(4): e94144.
- , Peng, G., Gossen, B.D., McGregor, L., Yu, F.Q., Hynes, R.K., Hwang, S. F., McDonald, M. R., Boyetchko, S. M. 2013. Evidence that the biofungicide Serenade (*Bacillus subtilis*) suppresses clubroot on canola via antibiosis and induced host resistance. *Phytopathology* 103: 245-254.
- Lamers, J.G., Postma, J., Scholten, O.E. 2012. Grondontsmetting en braak effectief. *Boerderij/Akkerbouw* 98: A16-A17.
- , van Os, G. 2016. Anaerobe grondontsmetting (AGO) voor open teelten. Wageningen UR. <http://edepot.wur.nl/378267>.
- , van Rozen, K., Hanse, B. 2016. Het bodemschimmelschema. Vernieuwd schema. WUR.
- Lamichhane, J.R., Dürr, C., Schwanck, A.A., Robin, M.H., Sarthou, J.P., Celier, V., Messéan, A., Aubertot, J.N. 2017. Integrated management of damping-off diseases. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37: 10.
- Lamondia, J.A. 2006. Management of lesion nematodes and potato early dying with rotation crops. *Journal of Nematology* 38: 442-448.
- Larkin, R.P., Griffin, T.S. 2007. Control of soilborne potato diseases using *Brassica* green manures. *Crop Protection* 26: 1067-1077.
- , 2008. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and soilborne diseases of potato. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 1341-1351.
- . 2013. Review. Green manures and plant disease management. *CAB Reviews* 8: 1-10.
- , Tavantzis, S. 2013. Use of biocontrol organisms and compost amendments for improved control of soilborne diseases and increased potato production. *American Journal of Potato Research* 90: 261-270.
- . 2015. Soil health paradigms and implications for disease management. *Annual Review of Phytopathology* 53: 199-221.
- . 2016. Impacts of biocontrol products on *Rhizoctonia* disease of potato and soil microbial communities, and their persistence in soil. *Crop Protection* 90: 96-105.
- , Honeycutt, C.W., Griffin, T.S., Olanya, O.M., He, Z., Halloran, J.M. 2017. Cumulative and residual effects of different potato cropping system management strategies on soilborne diseases and soil microbial communities over time. *Plant Pathology* 66: 437-449.
- Lazarovits, G., Conn, K.L., Abbasi, P.A., Tenuta, M. 2005. Understanding the mode of action of organic soil amendments provides the way for improved management of soilborne plant pathogens. *Acta Horticulturae* 698: 215-224.
- , Conn, K.L., Abbasi, P.A., Soltani, N., Kelly, W., McMillan, E., Peters, R.D., Drake, K.A. 2008. Reduction of potato tuber diseases with organic soil amendments in two Prince Edward Island fields. *Canadian Journal of Plant Pathology* 30: 37-45.

- Lemaire, J.M. 1988. *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) v. Arx & H. Olivier. pp. 323-324 in I.M. Smith et al. (eds): European Handbook of Plant Diseases. Blackwell Scientific Publications.
- Leoni, C., de Vries, M., ter Braak, C.J.F., van Bruggen, A.H.C., Rossing, W.A.H. 2013. *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* dynamics: In-plant multiplication and crop sequence simulation. European Journal of Plant Pathology 137: 545-561.
- Leroy, B.L.M.M., Bommele, L., Reheul, D., Moens, M., de Neve, S. 2007. The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: Effects on soil fauna and yield. European Journal of Soil Biology 43: 91-100.
- Lifshitz, R., Hancock, J.G. 1983. Saprophytic development of *Pythium ultimum* in soil as a function of water matric potential and temperature. Phytopathology 73: 257-261.
- Liu, C., Liu, F., Ravnskov, S., Rubæk, G.H., Sun, Z., Andersen, M.N. 2017. Impact of wood biochar and its interactions with mycorrhizal fungi, phosphorus fertilization and irrigation strategies on potato growth. Journal of Agronomy & Crop Science 203: 131-145.
- Loján, P., Senés-Guerrero, C., Suárez, J.P., Kromann, P., Schüßler, A., Declerck, S. 2017. Potato field-inoculation in Ecuador with *Rhizophagus irregularis*: no impact on growth performance and associated arbuscular mycorrhizal fungal communities. Symbiosis 73: 45-56.
- Lootsma, M. 1997. Control of Rhizoctonia stem and stolon canker of potato by harvest methods and enhancing mycophagous soil mesofauna. PhD thesis, Wageningen Universiteit.
- Lopes, E.A., Orr, J.N., Blok, V.C. 2018. Does soil warming affect the interaction between *Pasteuria penetrans* and *Meloidogyne javanica* in tomato plants? Plant Pathology 67: 1777-1783.
- Lumsden, R.D., Lewis, J.A., Millner, P.D. 1983. Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. Phytopathology 73: 1543-1548.
- Lund, M.E., Mourtzinis, S., Conley, S.P., Ané, J.M. 2018. Soybean cyst nematode control with *Pasteuria nishizawae* under different management practices. Agronomy Journal 110: 2534-2540.
- Madsen, A.M., de Neergaard, E. 1999. Interactions between the mycoparasite *Pythium oligandrum* and sclerotia of the plant pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. European Journal of Plant Pathology 105: 761-768.
- Maloy, O.C., Burkholder, W.H., 1959. Some effects of crop rotation on Fusarium root rot of bean. Phytopathology 49: 583-587.
- Mancini, V., Romanazzi, G. 2013. Seed treatments to control seedborne fungal pathogens of vegetable crops. Pest Management Science 70: 860-868.
- , Romanazzi, G., 2014. Seed treatments to control seedborne fungal pathogens of vegetable crops. Pest Management Science 70: 860-868.
- Manici, L.M., Caputo, F., Babini, V. 2004. Effect of green manure on *Pythium* spp. population and microbial communities in intensive cropping systems. Plant & Soil 263: 133-142.
- Marra, R., Vinale, F., Cesarano, G., Lombardi, N., D'Errico, G., Crasto, A., Mazzei, P., Piccolo, A., Incerti, G., Woo, S.L., Scala, F., Bonanomi, G. 2018. Biochars from olive mill waste have contrasting effects on plants, fungi and phytoparasitic nematodes. PLoS ONE 13: e0198728.
- Martin, C.C.G.S. 2014. Potential of compost tea for suppressing plant diseases. CAB Reviews 2014 9: 1-38.
- Martin, F.N., Loper, J.E. 1999. Soilborne Plant Diseases Caused by *Pythium* spp.: Ecology, epidemiology, and prospects for biological control. Critical Reviews in Plant Sciences 18: 111-181.
- Mastouri, F., Björkman, T., Harman, G.E. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. Phytopathology 100: 1213-1221.
- McCredden, J., Cowley, R.B., Marcroft, S.J., van de Wouw, A.P. 2018. Changes in farming practices impact on spore release patterns of the blackleg pathogen, *Leptosphaeria maculans*. Crop & Pasture Science 69: 1-8.
- McGehee, C.S., Raudales, R.E., Elmer, W.H., McAvoy, R.J. 2019. Efficacy of biofungicides against root rot and damping-off of microgreens caused by *Pythium* spp. Crop Protection 121: 96-102.
- Merriman, P.R., Pywell, M., Harrison, G., Nancarrow, J. 1979. Survival of sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum* and effects of cultivation practices on disease. Soil Biology & Biochemistry 11: 567-570.
- Metcalfe, D.A., Dennis J.J.C., Wilson, C.R. 2004. Effect of inoculum density of *Sclerotium cepivorum* on the ability of *Trichoderma koningii* to suppress white rot of onion. Plant Disease 88: 287-291.

- Molendijk, L.P.G., Brommer, E. 1998. Postponement of sowing reduces quality damage in carrots (*Daucus carota*) caused by *Meloidogyne fallax*. Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen 63: 655-658. Universiteit Gent (Belgium).
- , van Beers, T.G. 2005. Aardappel als vanggewas: evaluatie van PAGV onderzoek 1988-1992. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.
- , Visser, J., 2017. Mengsels van groenbemesters vereisen verstand van zaken. Wageningen UR, the Netherlands.
- Molendijk, L. 2018. Beheersing van aardappelmoehheid in de akkerbouw. Een update! Alles over aardappelmoehheid (AM): achtergronden, regelgeving, bemonstering, bestrijding en beheersing. BO brancheorganisatie akkerbouw. 24 pp.
- Mounier, E., Heysch, P., Cortes, F., Cadiou, M., Pajot, E. 2017. *Trichoderma atroviride*, strain I-1237, reduces the impact of *Pythium* spp. in carrot crop production. Acta Horticulturae 1153: 169-174.
- Mulder, A., Turkensteen, L.J. Aardappelziektenboek. 2008. Aardappelwereld magazine.
- Muller, P.J., van Aartrijk, J. 1989. Flooding reduces the soil population of the stem nematode *Ditylenchus dipsaci* (Kühn) in sandy soils. Acta Horticulturae 255: 261-264.
- Mumme, J., Getz, J., Prasad, M., Lüder, U., Kern, J., Mašek, O., Buss, W. 2018. Toxicity screening of biochar-mineral composites using germination tests. Chemosphere 207: 91-100.
- Murdock M.R., Woodhall J.W., Maggard R., Keith S., Harrington M., Oropeza A., Stokes B., Duellman K.M. 2019. First Report of *Rhizoctonia solani* AG 2-1 causing stem canker of potato (*Solanum tuberosum*) in Idaho. Plant Disease 103: 2130.
- Narisawa, K., Shimura, M., Usuki, F., Fukuhara, S., Hashiba, T. 2005. Effects of pathogen density, soil moisture, and soil pH on biological control of clubroot in chinese cabbage by *Heteroconium chaetospora*. Plant Disease 89: 285-290.
- Natti, J.J., 1965. Effect of crop sequences on root rots and yield off red kidney beans. Farm Research 31: 14-16.
- Nicot, P.C., Avril, F., Duffaud, M., Leyronas, C., Troulet, C., Villeneuve, F., Bardin, M. 2019. Differential susceptibility to the mycoparasite *Paraphaeosphaeria minitans* among *Sclerotinia sclerotiorum* isolates. Tropical Plant Pathology 44: 82-93.
- Niem, J., Gundersen, B., Inglis, D.A. 2013. Effects of soil flooding on the survival of two potato pathogens, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Verticillium dahliae*. American Journal of Potato Research 90: 578-590.
- Njoroge, S. M. C., Riley, M. B., Keinath, A. P. 2008. Effect of incorporation of *Brassica* spp. residues on population densities of soilborne microorganisms and on damping-off and Fusarium wilt of watermelon. Plant Disease 92: 287-294.
- , Vallad, G.E., Park, S.-Y., Kang, S, Koike, S.T., Bolda, M., Burman, P., Polonik, W., Subbarao, K.V. 2011. Phenological and phytochemical changes correlate with differential interactions of *Verticillium dahliae* with broccoli and cauliflower. Phytopathology 101: 523-534.
- Noble, R., Coventry, E. 2005. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: A review. Biocontrol Science & Technology 15: 3-20.
- . 2011. Risks and benefits of soil amendment with composts in relation to plant pathogens. Australasian Plant Pathology 40: 157-167.
- Ochiai, N., Powelson, M. L., Dick, R. P., Crowe, F. J. 2007. Effects of green manure type and amendment rate on *Verticillium* wilt severity and yield of Russet Burbank potato. Plant Disease 91: 400-406.
- Oka, Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – a review. Applied Soil Ecology 44: 101-115.
- Olsson, Å., Persson, L., Olsson, S. 2019. Influence of soil characteristics on yield response to lime in sugar beet. Geoderma 337: 1208-1217.
- Ophel-Keller, K., McKay, A., Hartley, D., Curran, H., Curran, J. 2008. Development of a routine DNA-based testing service for soilborne diseases in Australia. Australasian Plant Pathology 37: 243-253.
- Oplos, C., Elo, K., Spiroudi, U.-M., Pierluigi, C., Ntalli, N. 2018. Nematicidal weeds, *Solanum nigrum* and *Datura stramonium*. Journal of Nematology 50: 317-328.
- Oyarzun, P.J., Gerlagh, M., Hoogland, A.E. 1993. Pathogenic fungi involved in root rot of peas in the Netherlands and their physiological specialization. Netherlands Journal of Plant Pathology 99: 23-33.
- . 1994. Root rot of peas in the Netherlands: fungal pathogens, inoculum potential and soil receptivity. PhD thesis, Wageningen Universiteit.

- , Dijst, G., Zoon, F.C., Maas, P.W.T. 1997. Comparison of soil receptivity to *Thielaviopsis basicola*, *Aphanomyces euteiches*, and *Fusarium solani* f. sp. *pisi* causing root rot in pea. *Phytopathology* 87: 534-541
- , Gerlagh, M., Zadoks, J.C. 1998. Factors associated with soil receptivity to some fungal root rot pathogens of peas. *Applied Soil Ecology* 10: 151-169.
- Özer, N., Köycü, N.D., Mirik, M., Soran, H., Boyraz, D. 2002. Effect of some organic amendments on onion bulb rot. *Phytoparasitica* 30: 429-433.
- Pabin, J., Lipiec, J., Włodek, S., Biskupski, A., Kaus, A. 1998. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. *Soil & Tillage Research* 46: 203-208.
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., Bonanomi, G. 2011. Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biological Control* 56: 115-124.
- , Piccolo, A., Spaccini, R., Celano, G., Vilecco, D., Zaccardelli, M. 2013. Agricultural waste-based composts exhibiting suppressivity to diseases caused by the phytopathogenic soil-borne fungi *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Applied Soil Ecology* 65: 43-51.
- Pankhurst, C.E., McDonald, H.J., Hawke, B.G. 1995. Influence of tillage and crop rotation on the epidemiology of *Pythium* infections of wheat in a red-brown earth of South Australia. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 1065-1073.
- Pannecoucq, J., Van Beneden, S., Höfte, M. 2008. Characterization and pathogenicity of *Rhizoctonia* isolates associated with cauliflower in Belgium. *Plant Pathology* 57: 737-746.
- Peng, G., Lahlali, R., Hwang, S-F., Pageau, D., Hynes, R.K., McDonald, M.R., Gossen, B.D., Strelkov, S.E. 2014. Crop rotation, cultivar resistance, and fungicides/biofungicides for managing clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) on canola. *Canadian Journal of Plant Pathology* 36: 99-112.
- Persson, L., Larsson-Wikström, M., Gerhardson, B. 1999. Assessment of soil suppressiveness to *Aphanomyces* root rot of pea. *Plant Disease* 83: 1108-1112.
- Peters, R.D., Sturz, A.V., Carter, M.R., Sanderson, J.B. 2003. Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil & Tillage Research* 72: 181-192.
- Pieczarka, D.J., Abawi, G.S., 1978a. Effect of interaction between *Fusarium*, *Pythium*, and *Rhizoctonia* on severity of bean root rot. *Phytopathology* 68: 403-408.
- Pieczarka, D.J., Abawi, G.S., 1978b. Population and biology of *Pythium* species associated with snap bean roots and soils in New York. *Phytopathology* 68: 409-416.
- , Abawi, G.S., 1978c. Influence of soil water potential and temperature on severity of *Pythium* root rot of snap beans. *Phytopathology* 68: 766-772.
- Postma, J., Hospers, M., Colon, L. 2004. *Rhizoctonia*-decline in aardappelen in de biologische landbouw. Met eigen pootgoed minder *Rhizoctonia*. WUR, rapport 284.
- , Scheper, R.W.A., Schilder, M.T. 2010. Effect of successive cauliflower plantings and *Rhizoctonia solani* AG 2-1 inoculations on disease suppressiveness of a suppressive and a conducive soil. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 804-812.
- , Schilder, M., Hanse, B., Hendrickx, W., Venhuizen, A. 2013. Stimulering van ziektevering in de bodem door toevoegen van reststromen. 'Cash from trash' – Eindrapport SKB-duurzame ontwikkeling ondergrond – project 2031. WUR, rapport 529.
- , Schilder, M.T., Stevens, L.H. 2014. The potential of organic amendments to enhance soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* disease in different soils and crops. *Acta Horticulturae* 1044: 127-132.
- , Schilder, M.T. 2015. Enhancement of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* in sugar beet by organic amendments. *Applied Soil Ecology* 94: 72-79.
- , Nijhuis, E.H. 2019. *Pseudomonas chlororaphis* and organic amendments controlling *Pythium* infection in tomato. *European Journal of Plant Pathology*. 154: 91-107.
- Proefstation België, 2015. Ziekten en plagen in koolgewassen. Brochure, https://www.proefstation.be/wp-content/uploads/2015/07/Brochure_ziekten_-plagen_kool.pdf
- Qian, M., Dung, J. 2007. Efficacy of organic sulfur compounds from garlic/onion on white rot sclerotia germination. Lezing, Oregon State University.
- Quillévéré-Hamard, Le Roy, G., Moussart, A., Baranger, A., Andrivon, D., Pilet-Nayel, M.L., Le May, C. 2018. Genetic and pathogenicity diversity of *Aphanomyces euteiches* populations from pea-growing regions in France. *Frontiers in Plant Science* 871: 1673.
- Raaijmakers, E. 2013. Jaarverslag IRS 2013, p. 43.

- Raaijmakers, J.M., Vlami, M., and de Souza, J.T. 2002. Antibiotic production by bacterial biocontrol agents. *Antonie Leeuwenhoek* 81: 537-547.
- , Paulitz, T.C., Steinberg, C., Alabouvette, C., Moëne-Loccoz, Y. 2009. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial organisms. *Plant & Soil* 321: 341-361.
- Ramaratham, R., Dilantha Fernando, W.G. 2006. Preliminary phenotypic and molecular screening for potential bacterial biocontrol agents of *Leptosphaeria maculans*, the blackleg pathogen of canola. *Biocontrol Science & Technology* 16: 567-582.
- , Fernando, W.G.D., de Kievit, T. 2011. The role of antibiosis and induced systemic resistance, mediated by strains of *Pseudomonas chlororaphis*, *Bacillus cereus* and *B. amyloliquefaciens*, in controlling blackleg disease of canola. *Biocontrol* 56: 225-235.
- Roosjen, J., Boerma, M. 1990. Effecten van inundatie op de populatie van de nematoden *Globodera pallida*, *Meloidogyne hapla*, *Pratylenchus* spp.. en de schimmels *Rhizoctonia solani* en *Sclerotinia sclerotiorum*. Stichting Interprovinciaal Onderzoekscentrum voor de Akkerbouw op de zand- en veenkoloniale grond in Middenoost- en Noordoost-Nederland. HLB Onderzoek, pp. 164-167.
- Runia, W.T., van Gastel, W.G., Korthals, G.W., 2006. Inventarisatie en beheersing van het quarantaine aaltje *Meloidogyne chitwoodi* binnen de pootgoedteelt in de Wieringermeer. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV. 1-19.
- , Molendijk, L., Regeer, H., Venhuizen, A. 2012. Effectiviteit inundatie voor de bestrijding van *Globodera pallida* en *Verticillium dahliae*. WUR.
- Sagova-Mareckova, M., Daniel, O., Omelka, M., Kristufek, V., Divis, J., Kopecky, J. 2015. Determination of factors associated with natural soil suppressivity to potato common scab. *Plos One* 10:e0116291.
- Saharan, G.S., Mehta, N. 2008. *Sclerotinia* diseases of crop plants: Biology, ecology and disease management. Springer.
- Saison, C., Degrange, V., Oliver, R., Millard, P., Commeaux, C., Montange, D., Le Roux, X. 2006. Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: Effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environmental Microbiology* 8: 247-257.
- Saude, C., Simon, P.W., McDonald, M.R. 2014. Incidence and severity of cavity spot of carrot as affected by pigmentation, temperature, and rainfall. *Plant Disease* 98: 929-936.
- Sayre, R.M., Wergin, W.P., Schmidt, J.M., Starr, M.P. 1991. *Pasteuria nishizawae* sp. nov., a mycelial and endospore-forming bacterium parasitic on cyst nematodes of genera *Heterodera* and *Globodera*. *Research in Microbiology* 142: 551-564.
- Scaife, M.A., Turner, M.K., Barnes, A., Hunt, J. 1983. Cavity spot of carrots - observations on a commercial crop. *Annals of Applied Biology* 102: 567-575.
- Schneider, O., Roger-Estrade, J., Aubertot, J.-N., Doré, T. 2006. Effect of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble. *Soil & Tillage Research* 85: 115-122.
- Scholte, K. The effect of crop rotation and granular nematicides on the incidence of *Rhizoctonia solani* in potato. 1987. *Potato Research* 30: 187-199.
- . 1992. Effect of crop rotation on the incidence of soil-borne fungal diseases of potato. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 98 (suppl. 2): 93-101.
- Schulze, S., Koch, H.J., Märlander, B., Varrelmann, M. 2016. Effect of sugar beet variety and nonhost plant on *Rhizoctonia solani* AG2-2IIIB soil inoculum potential measured in soil DNA extracts. *Phytopathology* 106: 1047-1054.
- SeedLabsInc. 2017. *Aphanomyces* root rot in peas. <https://2020seedlabs.ca/aphanomyces-root-rot-in-peas/>.
- Shah, F.A., Falloon, R.E., Bulman, S.R. 2010. Nightshade weeds (*Solanum* spp.) confirmed as hosts of the potato pathogens *Meloidogyne fallax* and *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*. *Australasian Plant Pathology* 39: 492-498.
- Sharma-Poudyal, D., Paulitz, T.C., du Toit, L.J. 2016. Timing of glyphosate applications to wheat cover crops to reduce onion stunting caused by *Rhizoctonia solani*. *Plant Disease* 100: 1474-1481.
- Silva, J.C.P.D., Medeiros, F.H.V.D., Campos, V.P. 2018. Building soil suppressiveness against plant-parasitic nematodes. *Biocontrol Science & Technology* 28: 423-445.
- Şimşek Erşahin, Y., Weiland, J.E., Zasada, I.A., Reed, R.L., Stevens, J.F. 2014. Identifying rates of meadowfoam (*Limnanthes alba*) seed meal needed for suppression of *Meloidogyne hapla* and *Pythium irregulare* in soil. *Plant Disease* 98: 1253-1260.

- Sintayehu, A., Ahmed, S., Fininsa, C., Sakhuja, P.K. 2014. Evaluation of green manure amendments for the management of *Fusarium* basal rot (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*) on shallot. International Journal of Agronomy 2014: 1-6.
- Smiley, R.W., Ogg, A.G., Cook, R.J. 1992. Influence of glyphosate on *Rhizoctonia* root rot, growth, and yield of barley. Plant Disease 76: 937-942.
- Soltani, N., Conn, K.L., Abbasi, P.A., Lazarovits, G., 2002. Reduction of potato scab and Verticillium wilt with ammonium lignosulfonate soil amendment in four Ontario potato fields. Canadian Journal of Plant Pathology 24, 332e339.
- Southwood, M.J., Viljoen, A., McLeod, A. 2015. Inoculum sources of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* on onion in the Western Cape Province of South Africa. Crop Protection 75: 88-95.
- Stone, A.G., Scheuerell, S.J., Darby, H.M. 2004. Suppression of soilborne diseases in field agricultural systems: Organic matter management, cover cropping and other cultural practices. pp. 131-177 in F. Magdoff, R.R. Weil (eds.), Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press.
- Sturrock, C.J., Woodhall, J., Brown, M., Walker, C., Mooney, S.J., Ray, R.V. 2015. Effects of damping-off caused by *Rhizoctonia solani* anastomosis group 2-1 on roots of wheat and oil seed rape quantified using X-ray Computed Tomography and real-time PCR. Frontiers in Plant Science 6: 461.
- Subbarao, K.V., Hubbard, J.C. 1999. Evaluation of broccoli residue incorporation into field soil for *Verticillium* wilt control in cauliflower. Plant Disease 83: 124-129.
- Takenaka, S., Ishikawa, S. 2013. Biocontrol of sugar beet seedling and taproot diseases caused by *Aphanomyces cochlioides* by *Pythium oligandrum* treatments before transplanting. Japan Agricultural Research Quarterly 47: 75-83.
- Termorshuizen, A.J., van Rijn, E., van der Gaag, D.J., Alabouvette, C., Chen, Y., Lagerlöf, J., Malandrakis, A.A., Paplomatas, E.J., Rämert, B., Ryckeboer, J., Steinberg, C., Zmora-Nahum, S. 2006. Suppressiveness of 18 compost against 6 pathosystems: Variability in pathogen response. Soil Biology & Biochemistry 38: 2461-2477.
- , Jeger, M.J. 2008. Strategies of soilborne plant pathogenic fungi in relation to disease suppression. Fungal Ecology 1: 108-114.
- Thoden, T.C., Korthals, G.W., Termorshuizen, A.J. 2011. Organic amendments and their influences on plant-parasitic and free-living nematodes: a promising method for nematode management? Nematology 13: 133-153.
- Tilston, E.L., Pitt, D., Fuller, M.P., Groenhof, A.C. 2005. Compost increases yield and decreases take-all severity in winter wheat. Field Crops Research 94: 176-188.
- Usuki, F., Narisawa, K. 2007. A mutualistic symbiosis between a dark septate endophytic fungus, *Heteroconium chaetospora*, and a nonmycorrhizal plant, Chinese cabbage. Mycologia 99: 175-184.
- Van Beneden, S., Leenknecht, I., França, S.C., Höfte, M. 2009a. Improved control of lettuce drop caused by *Sclerotinia sclerotiorum* using Contans combined with lignin or a reduced fungicide application. Crop Protection 29: 168-174.
- , Pannecouque, J., Debode, J., De Backer, G., Höfte, M. 2009b. Characterisation of fungal pathogens causing basal rot of lettuce in Belgian greenhouses. European Journal of Plant Pathology 124: 9-19.
- , Roobroeck, D., França, S.C., de Neve, S., Boeckx, P., Höfte, M. 2010. Microbial populations involved in the suppression of *Rhizoctonia solani* AG1-1B by lignin incorporation in soil. Soil Biology & Biochemistry 42: 1268-1274.
- Van den Boogert, P.H.J.F., Luttikholt, A.J.G. 2004. Compatible biological and chemical control systems for *Rhizoctonia solani* in potato. European Journal of Plant Pathology 110: 111-118.
- Van der Voort, M., Kempenaar, M., van Driel, M., Raaijmakers, J.M., Mendes, R. 2016. Impact of soil heat on reassembly of bacterial communities in the rhizosphere microbiome and plant disease suppression. Ecology Letters 19: 375-382.
- Van Gastel-Topper, A.W.W., Visser, J.H.M., Korthals, G.W. 2009. Onderzoek naar bestrijding van het quarantaine aaltje *Meloidogyne chitwoodi* binnen de pootgoedteelt in de Wieringermeer. Wageningen UR, The Netherlands, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving.
- Van Geel, W., de Haan, J., Hanegraaf, M., Postma, R. 2019. Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen. Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van organische stof. Wageningen Research | Open Teelten, Lelystad. Rapport WPR-project 3750384500, 58 pp.
- Van Iperen. 2018. Organische stof: breng leven in de bodem! Uitgave Van Iperen. 71 pp.

- Van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W.J., Urbaneja, A. 2018. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *Biocontrol* 63: 39-59.
- Van Os, G. 2016. Biofumigatie. 6 pp. <http://edepot.wur.nl/388919>.
- Van Overbeek, L., Runia, W., Kastelein, P., Molendijk, L. 2014. Anaerobic disinfestation of tare soils contaminated with *Ralstonia solanacearum* biovar 2 and *Globodera pallida*. *European Journal of Plant Pathology* 138: 323-330.
- Van Toor, R.F., Butler, R.C., Braithwaite, M., Bienkowski, D., Qiu, W., Chang, S.F., Cromey, M.G. 2016. Pathogenicity of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* increased by nitrogen applied to soil to enhance the decomposition rate of wheat residues. *New Zealand Plant Protection* 69: 111-119.
- , Butler, R.C., Cromey, M.G. 2018. Rate of decline of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* inoculum and decomposition of residues from wheat cultivars. *Australasian Plant Pathology* 47: 35-44.
- Verlinden, G., Pycke, B., Debersaques, F., Baert, G., Haesaert, G. 2007. Humine- en fulvozuren als tool voor optimalisatie van plantenvoeding. Technisch eindverslag. Hogeschool Gent en Bodemkundige Dienst België.
- Vervoort, M.T.W., Vonk, J.A., Broelsma, K.M., Schütze, W., Quist, C.W., de Goede, R.G.M., Hoffland, E., Bakker, J., Mulder, C., Hallmann, J., Helder, J. 2014. Release of isothiocyanates does not explain the effects of biofumigation with Indian mustard cultivars on nematode assemblages. *Soil Biology & Biochemistry* 68: 200-207.
- Viscardi, T., Brzeski, M.W. 1992. Simulation model for the population dynamics of the nematode *Paratylenchus bukowinensis* (Nematoda: Tylenchulidae). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 38: 153-157.
- Visser, J.H.M., Molendijk, L.P.G.M., Feil, H., Meints, H., van Beers T. 2017. Bodem Resetten: Innovatieve anaerobe grondontsmetting (ASD) tegen schadelijke bodemorganismen. Wageningen University and Research, Open Teelten, Lelystad Project rapport 3750312500.
- Vocanson, A., Jeuffroy, M.H. 2008. Agronomic performance of different pea cultivars under various sowing periods and contrasting soil structures. *Agronomy Journal* 100: 748-759.
- , Roger-Estrade, J., Boizard, H., Jeuffroy, M.H. 2006. Effects of soil structure on pea (*Pisum sativum* L.) root development according to sowing date and cultivar. *Plant & Soil* 281: 121-135.
- Wallenhammar A.C., Johnsson L., Gerhardson B. 2000. Agronomic performance of partly clubroot-resistant spring oilseed turnip rape lines. *Journal of Phytopathology* 148: 495-499.
- , Almquist, C., Schwelm, A., Roos, J., Marzec-Schmidt, K., Jonsson, A., Dixelius, C. 2014. Clubroot, a persistent threat to Swedish oilseed rape production. *Canadian Journal of Plant Pathology* 36: 135-141.
- Wander, J., Russchen, H.J., Eldering, C., van Hamont, J., Naber, R., Remijn, J., Rongen, J., van der Velde, A., Schepers, H., Lamers, J. 2011. Kennisinventarisatie Sclerotinia-problematiek. Inventarisatie bestaande kennis m.b.t. *Sclerotinia* in het bouwplan. DLV Plant, PPO AGV Lelystad.
- Wei, F., Passey, T., Xu, X. 2016. Effects of individual and combined use of bio-fumigation-derived products on the viability of *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil. *Crop Protection* 79: 170-176.
- Weinman, M. 2017. Bio-effectors for Improved growth, nutrient acquisition and disease resistance of crops case studies to the development of sustainable cropping systems emphasizing soil-plant-microbial Interactions. Faculty of Agricultural Sciences, Universität Hohenheim.
- Werkman, D. 2008. Productschap Akkerbouw, Effect van diverse meststoffen op [poeder]schurft bij aardappelen. SPNA.
- , Bosch, R., Veldman, W. 2008. Effect van diverse meststoffen op schurft bij aardappelen. Productschap Akkerbouw.
- Westerdijk, C.E., Esselink, L.J., Postma, J., Scheper, R.W.A., Schilder, M.T., Dijst, G., van den Boogert, P.H.J.F. 2003. Eindverslag Rhizoctonia in bloemkool. PPO 52007/5234340.
- Wheeler, D.L., Johnson, D.A. 2016. *Verticillium dahliae* infects, alters plant biomass, and produces inoculum on rotation crops. *Phytopathology* 106: 602-613.
- Whipps, J.M. 1987. Behaviour of fungi antagonistic to *Sclerotinia sclerotiorum* on plant tissue segments. *Journal of General Microbiology* 133: 1495-1501.
- , Lumsden, R.D. 1991. Biological control of *Pythium* species. *Biocontrol Science & Technology* 1: 75-90.
- White, J.G. 1988. Studies on the biology and control of cavity spot of carrots. *Annals of Applied Biology* 113: 259-268.

-
- Wilsey, T.L., Chatterton, S., Heynen, M., Erickson, A. 2018. Detection of interactions between the pea root rot pathogens *Aphanomyces euteiches* and *Fusarium* spp. using a multiplex qPCR assay. *Plant Pathology* 67: 1912-1923.
- Wilson, C., Zebarth, B.J., Goyer, C., Burton, D.L. 2018. Effect of diverse compost products on soilborne diseases of potato. *Compost Science & Utilization* 26: 156-164.
- Wilson, P.S., Ahvenniemi, P.M., Lehtonen, M.J., Kukkonen, M., Rita, H., Valkonen, J.P.T. 2008. Biological and chemical control and their combined use to control different stages of the *Rhizoctonia* disease complex on potato through the growing season. *Annals of Applied Biology* 153: 307-320.
- Wishart, J., Blok, V.C., Phillips, M.S., Davies, K.G. 2004. *Pasteuria penetrans* and *P. nishizawae* attachment to *Meloidogyne chitwoodi*, *M. fallax* and *M. hapla*. *Nematology* 6: 507-510.
- Woodhall, J.W., Webb, K.M., Giltrap, P.M., Adams, I.P., Peters, J.C., Budge, G.E., Boonham, N. 2012. A new large scale soil DNA extraction procedure and real-time PCR assay for the detection of *Sclerotium cepivorum* in soil. *European Journal of Plant Pathology* 134: 467-473.
- , Adams, I.P., Peters, J.C., Boonham, N. 2013. A new quantitative real-time PCR assay for *Rhizoctonia solani* AG3-PT and the detection of AGs of *Rhizoctonia solani* associated with potato in soil and tuber samples in Great Britain. *European Journal of Plant Pathology* 136: 273-280.
- Xiang, N., Lawrence, K.S., Kloepper, J.W., Donald, P.A., McInroy, J.A. 2017. Biological control of *Heterodera glycines* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on soybean. *PLoS ONE* 12(7): e0181201.
- Yu, Q., Tsao, R., Chiba, M. & Potter, J. 2007. Oriental mustard bran reduces *Pratylenchus penetrans* on sweet corn. *Canadian Journal of Plant Pathology* 29: 421-426.
- Zaayen, A. 1985. De effecten van inundatie van bloembollengronden op ziekten, plagen en onkruiden. Intern jaarverslag LBO, 72-74.
- Zasada, I.A., Meyer, S.L.F., Morra, M.J. 2009. Brassicaceous seed meals as soil amendments to suppress the plant-parasitic nematodes *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology* 41: 221-227.
- Zeng, W., Kirk, W., Hao, J. 2012. Field management of *Sclerotinia* stem rot of soybean using biological control agents. *Biological Control* 60: 141-147.
- Zhang, Y., Yang, J., Zhang, T., Xie, D. 2017. Citrus stand ages regulate the fraction alteration of soil organic carbon under a citrus/*Stropharia rugoso-annulata* intercropping system in the Three Gorges Reservoir area, China. *Environmental Scientific Pollution Research* 24: 18363-18371.
- Zhang, X., Fernando, W.G.D. 2018. Insights into fighting against blackleg disease of *Brassica napus* in Canada. *Crop Pasture Science* 69: 40-47.
- Zhao, C., Li, Y., Wu, S., Wang, P., Han, C., Wu, X. 2019. Anastomosis group and pathogenicity of *Rhizoctonia* spp. associated with seedling damping-off of sugar beet in China. *European Journal of Plant Pathology* 153: 869-878.
- Zouhar, M., Douda, O., Nováková, J., Doudová, E., Mazáková, J., Wnezlová, J., Ryšánek, P., Renčo, M. 2013. First report about the trapping activity of *Stropharia rugosoannulata* acanthocytes for Northern Root Knot Nematode. *Helminthologia* 50: 127-131.

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-955

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Correspondentie adres voor dit rapport:
Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-955

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 12.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

