Invloed van ruimtelijke gewasdiversiteit op de beheersing van ziekten en plagen

Een kort overzicht op basis van rapporten en artikelen uit de wetenschappelijke literatuur

Auteurs | R. Peters[1], A. Riemens[2], C.A.F. van Oers[2] & C. van Sluijs[2]

[1] 1 Wageningen University & Research | Open Teelten
[2] Proefboederij Rusthoeve AIKC

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Rapport WPR-OT 1136

Invloed van ruimtelijke gewasdiversiteit op de beheersing van ziekten en plagen

Een kort overzicht op basis van rapporten en artikelen
uit de wetenschappelijke literatuur

R. Peters[1], A. Riemens[2], C.A.F. van Oers[2] & C. van Sluijs[2]

1 Wageningen University & Research | Open Teelten
2 Proefboerderij Rusthoeve AIKC

Dit onderzoek is in opdracht van Proefboerderij Rusthoeve AIKC uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten, in het kader van het project 'Op weg naar meer Biodiversiteit door Gewasdiversiteit in Zeeland'

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

Wageningen, februari 2025

Rapport WPR-OT 1136

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

R. Peters, A. Riemens, C.A.F. van Oers, C. van Sluijs, 2025. *Invloed van ruimtelijke gewasdiversiteit op de beheersing van ziekten en plagen; Een kort overzicht op basis van rapporten en artikelen uit de wetenschappelijke literatuur .* Wageningen Research, Rapport WPR-OT 1136. 26 blz.; 0 fig.; 0 tab.; 60 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op: https://doi.org/10.18174/686070

Trefwoorden: *gewasdiversiteit, gewasdiversificatie, strokenteelt, mengteelt, rassenmengsels*

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, 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-OT 1136

Foto omslag: Proef ‘Op weg naar meer Biodiversiteit door Gewasdiversiteit in Zeeland’, A. Riemens, Rusthoeve AIKC

Inhoud

Woord vooraf **5**

Samenvatting **6**

1 Inleiding **9**

1.1 Algemeen 9
1.2 Focus literatuuronderzoek 9

2 Werkwijze **10**

2.1 Verzameling van bronnen 10
2.2 Beperkingen van het onderzoek 10
2.3 Leeswijzer 10

3 Informatie gepubliceerd in Nederlandse onderzoeksrapporten en vakbladen **11**

3.1 Algemeen kennisverloop gewasdiversificatie 11
3.2 Strokenteelt 12
3.3 Mengteelt 14
3.4 Rassenmengsels 17

4 Informatie gepubliceerd in internationale wetenschappelijke literatuur **19**

4.1 Algemeen kennisverloop gewasdiversificatie 19
4.2 Strokenteelt 22
4.3 Mengteelt 23
4.4 Rassenmengsels 23

5 Discussie en conclusie **25**

Literatuur **26**

Woord vooraf

Het voor u liggende rapport is geschreven als onderdeel van het project 'Op weg naar meer Biodiversiteit door Gewasdiversiteit in Zeeland', een project van Proefboerderij Rusthoeve AIKC (Agrarisch Innovatie- en Kennis Centrum). Het project streeft ernaar de biodiversiteit op Zeeuwse akkerbouwbedrijven te verhogen middels diverse maatregelen zoals strokenteelt, mengteelt, verhoogde graanstoppels en aangepast maaibeleid. Het is een vervolg op het project 'Naar een toekomstbestendige landbouw in Zeeland: Strokenteelt'.

Samenvatting

Gewasdiversiteit in tijd, maar ook in ruimte is een belangrijk onderdeel van een geïntegreerde strategie voor ziekten, plagen en onkruiden. Naar gewasdiversiteit in de tijd, oftewel teeltfrequentie binnen een bouwplan is in het verleden al veel onderzoek gedaan en is er veel kennis voorhanden over de effecten hiervan op bijvoorbeeld voorkomen van bepaalde ziekten. In recente jaren wordt ruimtelijke gewasdiversiteit en de methoden hiervoor (strokenteelt, mengteelt, rassenmengsels) ook steeds vaker genoemd als potentieel onderdeel van een strategie om beleidsdoelen op het gebied van biodiversiteit, klimaatmitigatie en gewasbescherming te halen. In dit literatuuronderzoek is de stand van zaken van kennisopbouw op het gebied van ruimtelijke gewasdiversificatie geëvalueerd met een focus op praktijkonderzoek uit Europa en aan gewassen die passen in een 'typisch' Nederlands bouwplan. Hieronder zijn de resultaten uit veldproeven en literatuuronderzoek samengevat, met uitsluiting van de reviews gebruikt voor het beschrijven van het 'algemene kennisverloop' (§3.1 en 4.1).

Onderzoek uit Nederland

In een vijf jaar durende proef op de Broekemahoeve in Lelystad bleek in een biologisch teeltsysteem strokenteelt voor één van de getoetste rassen een betrouwbaar tragere Phytophthora-aantasting te geven en een betrouwbaar hogere opbrengst in vergelijking met volveldse teelt. Wel was dit effect start afhankelijk van de start en het verloop van de Phytophthora-epidemie, en lagen de momenten waarop beide teelten gebrand moesten worden dicht bij elkaar. Bij een vergelijking tussen 3- en 6-meter stroken in een soortgelijk systeem was de mediaan van de Phytophthora infectiescore betrouwbaar lager in de 3-meter stroken tijdens zes jaar onderzoek. Ook hier echter verschilden de momenten waarop de teelt gebrand moest worden slechts weinig (5 dagen). Een strokenproef gedurende drie jaar waarbij Engels raaigras, maïs of veldboon tussen de stroken aardappel werden geteeld toonde aan dat veldboon een betrouwbaar hogere aantasting van Phytophthora gaf, maar gras als tussenliggende strook gaf een betrouwbaar lagere aantasting en een hogere opbrengst. Wel bleek ook hier dat het startpunt van de epidemie en de snelheid van het verloop een grote invloed had. De stroken met gras vertraagden het moment van branden met 1-3 dagen.

In een vijf jaar durende proef op de Broekemahoeve in Lelystad bleek in een biologisch teeltsysteem weliswaar een klein verschil te zijn in het percentage aangetast bladoppervlak door gele (streeptjes)roest in zomertarwe geteeld in stroken ten opzichte van volveldse teelt, maar het verschil in opbrengst was slechts 0,5 ton/ha, in het voordeel van de strokenteelt. In dezelfde proef werd gekeken naar de invloed van rassenmengsels. Hierbij wordt een hogere aantasting vastgesteld in de volveldse teelt, maar dit heeft wederom slechts een zeer klein opbrengstverschil tot gevolg (0.2 ton/ha). Een poging tot het creëren van een mengteelt van witte lupine tussen maïs mislukte door aantasting van Ascochyta en Botrytis. Het gemengd telen van spruitkool met gerst, of Triticale met witte klaver hielp niet om de bodem meer ziektewerend te maken tegen Rhizoctonia rot of Fusarium verwelkingsziekte maar onderdrukte wel tarwehalmdoder en knolvoet. Ook vertoonden de microbiomen van de mengteelten geen verhoogde activiteit ten opzichte van de monoteelten. Omdat deze onderdrukking alleen voor specifieke soorten lijkt te gelden is deze mogelijk pathogeen-/antagonist specifiek. De drijvende kracht moet waarschijnlijk gezocht worden in de rhizosfeer.

Uit literatuuronderzoek bleek dat: 1) Mengteelten van broccoli met aardappels of uien kunnen gunstig uitpakken voor de broccoli door minder witte roest. Er waren geen effecten op de aardappel, door schaduwwerking gaven de uien minder opbrengst. 2) Een mengteelt van aardappels en veldbonen leverde na twee jaar geen effecten op voor de ziekte- en plaagdruk. Bij vermenging van aardappels en veldbonen in de rij ontstond een verhoogde Phytophthora-aantasting door verandering van het microklimaat. 3) Een mengteelt van prei met selderij had geen effect op de tripsdruk maar had wel een onkruid onderdrukkend effect. 4) Een mengteelt van prei met veldboon verminderde betrouwbaar de tripsschade maar de concurrentie van de veldboon met de prei was zo sterk dat de opbrengst van de prei halveerde.

5) De mengverhoudingen 1:1, 1:3 en 1:5 tussen kool en peen gaven geen betrouwbare verschillen voor de beheersing van bladluizen en de koolmot. 6) Een mengteelt van witte kool met Chinese kool gaf geen betrouwbaar verschil met een volveldse teelt witte kool voor wat betreft schade door aardvlooien. 7) Bieslook tussen de witte kool en bruine mosterd tussen de prei zorgde voor een verplaatsing van de eiafzet van respectievelijk de prei- en de koolmot naar de vanggewassen. 8) Een mengteelt van erwt met gerst leidt tot minder bladluizen in de gerst, effect op luizendruk of opbrengst van de erwt niet genoemd.

Diverse strokenteeltontwerpen gaven slecht een iets lagere herbivorenschade in de teelt van sluitkool of bloemkool, maar slechts bij één ontwerp op één locatie was er ook sprake van een hoger vermarktbaar aandeel ten opzichte van een volveldse teelt. Een proef met bloemkool in stroken van 6, 12, 24 of 48 meter breed, met gras-klaver of aardappel als naastgelegen gewas toonde gedurende twee jaren aan dat bredere stroken de activiteit van spinnen en de diversiteit aan loopkevers verlagen, maar een hoger aandeel roofkevers gaf. De teelt van bloemstroken langs kolen gaf meer herbivorenschade in de rijen direct langs de bloemstrook, maar een vermindering op het niveau van de strook kool als geheel.

Het gebruik van bladrammenas als mengteelt met gladiolen had nauwelijks effect op de mate van besmetting met (*Para*)*Trichodorus* spp. of het voorkomen van tabaksratelvirus. Witte en rode klaver worden veel gebruikt (als onderdeel van een mengsel van) groenbemesters. Rode klaver kent rassen met enige resistentie of tolerantie tegen stengelaaltjes, witte klaver niet. Resistenties tegen het klavercysteaaltje kwamen voor bij rassen van beide soorten. Van resistenties tegen diverse wortelknobbelaaltjes is weinig bekend, en wilde soorten die resistent waren bleken niet kruisbaar met moderne rassen witte of rode klaver. In een kastoets gaven alpenklaver en akkerklaver geen vermeerdering van het wortellesieaaltje, en uit een andere kastoets bleken Alexandrijne en Perzische klaver slechte waarden te zijn voor *P. teres*.

Het gemengd telen van spruitkool met gerst, of Triticale met witte klaver hielp niet om de bodem meer ziektewerend te maken tegen Rhizoctonia rot of Fusarium verwelkingsziekte maar onderdrukte wel tarwehalmdoder en knolvoet. Ook vertoonden de microbiomen van de mengteelten geen verhoogde activiteit ten opzichte van de monoteelten. Omdat deze onderdrukking alleen voor specifieke soorten lijkt te gelden is deze mogelijk pathogeen-/antagonist specifiek. De drijvende kracht moet waarschijnlijk gezocht worden in de rhizosfeer.

De invloed van mengteelten op de vermeerdering van plantenparasitaire aaltjes (PPN) is vooralsnog vrij beperkt onderzocht, hoewel er enige projecten gaande zijn. Er is zeer beperkt informatie over mengsels van groenbemesters, bijvoorbeeld van resistente bladrammenas met de goede waard Japanse haver (voor het maïswortelknobbelaaltje, *Meloidogyne chitwoodi*). Uit deze proeven blijkt dat zodra er een waard in het mengsel zit de populatie toeneemt, en dat afhankelijk van de verhouding wel/niet waardgewassen de uiteindelijke populatiedichtheid dichter bij een monoteelt niet-waard of een monoteelt wel waard zit. Een soortgelijk effect is bekend van het wortellesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*), in complexe mengsel van groenbemesters (>3 soorten), waarbij, zeker als er meerdere waarden in het mengsel aanwezig zijn, de populatie van het aaltje sterk toenam.

Onderzoek uit Europa

Een Duits strokenteeltxperiment met stroken van tarwe of gras-klaver tussen de aardappels ter vertraging van een Phytophthora-epidemie kon in twee jaar geen betrouwbaar verschil aantonen in aantasting tussen stroken en blokken. Het enige betrouwbare verschil was tussen de gebruikte rassen, welke verschilden in mate van resistentie tegen de ziekte. Een ander, groot onderzoek uit Duitsland toonde aan dat soortenrijkheid (1, 2, 4, 8, 16 of 60 soorten per veldje) de grond weerbaarder maakte tegen Rhizoctonia rot van bieten, maar dat de gevoeligheid hiervoor toenam als het aandeel vlinderbloemige soorten steeg. In een strokenteeltexperiment in Italië werden gedurende drie jaar de teelt van veldboon met tomaat en tarwe met zucchini vergeleken. Er werden geen betrouwbare verschillen gevonden in de aantasting van Fusarium verwelking in de tomaat of echte meeldauw in de zucchini.

Een vierjarig experiment in Spanje toonde aan dat rij-om-rij mengteelt van veldboon met gerst de aantasting door roest in de veldboon betrouwbaar kon verlagen. Rij-om-rij mengteelt met tarwe of erwt gaf geen betrouwbaar verschil in de aantasting. Er waren geen betrouwbare verschillen in plant biomassa of opbrengst. In dezelfde proef werden rassenmengsels met diverse aandelen van het roest-resistente ras getoetst. Hieruit bleek dat de mate van aantasting in de totale teelt proportioneel afnam met de toename van het aandeel resistent ras.

In België bleek een mengteelt van tarwe en erwt wel of geen versterkend effect te hebben op de predatie van rupsen en plaaginsecten door roofkevers en spinnen, dit was sterk afhankelijk van het moment in het seizoen. In het najaar was de predatie het hoogst in de mengteelt, in het voorjaar in de monoteelt van tarwe.

Discussie & conclusie

Er wordt al ruim 20 jaar veel geschreven over het nut en de potentiële (theoretische) voordelen van ruimtelijke gewasdiversificatie zoals strokenteelt, mengteelten en rassenmengsels. De theorie en de praktijk blijken op dit vlak echter nog behoorlijk te verschillen, en de onderbouwing van de theorie met harde data uit onderzoek is vooralsnog ook beperkt. Veel onderzoek richt zich op de functionaliteit van natuurlijke vijanden, of op slechts een beperkt aantal gewascombinaties. Hoewel er vaak wel degelijk zinvolle lessen uit de proeven te trekken zijn worden deze vaak nog niet toegepast in opvolgend/aanvullend onderzoek, waardoor van optimalisatie nog nauwelijks sprake is. De invloed van ruimtelijke gewasdiversificatie op bodemgebonden ziekten en plagen, en ook op onkruiden, is in Nederland en Europa nog maar zeer beperkt onderzocht. Wat tot slot ook zelden meegenomen wordt is of resultaten die weliswaar academisch gezien interessant zijn (significantie), ook nut hebben voor de praktijk (relevantie).

1 Inleiding

1.1 Algemeen

De intensivering van de landbouw heeft ons veel goeds gebracht. Nog nooit in de geschiedenis van de mensheid hebben we de beschikking gehad over zoveel goedkoop voedsel van goede kwaliteit. De intensivering had echter ook een aantal keerzijden, in het bijzonder op het gebied van bodemstructuur, waterkwaliteit, akkerflora en -fauna en daarnaast een sterke afhankelijk van synthetisch chemische gewasbeschermingsmiddelen (GBM). Men begon zich af te vragen of het niet anders kon, duurzamer, met meer zorg voor omgeving, milieu en de invloed op omwonenden. Sindsdien is de regelgeving vanuit Europese en nationale overheden strenger geworden, en is de ook de maatschappelijke druk sterk toegenomen.

Er werd een nieuw pad ingeslagen, dat van de zogenaamde 'geïntegreerde landbouw', waarbij onder andere meer aandacht was voor het beheer van de bodem en de intrinsieke weerbaarheid van de gewassen. Vandaag de dag wordt die weg nog steeds vervolgd, en worden er flinke stappen gezet richting verminderde afhankelijk van GBM, met meer inzet op weerbare teeltsystemen.

Vanuit Europese regelgeving wordt in Nederland al sinds jaren gewerkt met de principes van Integrated Pest Management (IPM), wat voorschrijft dat GBM een laatste redmiddel moeten zijn, en dus eerst alle andere mogelijke maatregelen in een teelt genomen moeten worden. Zeer recent heeft Wageningen Research | Open Teelten een verbreding en een verdieping van IPM ontworpen in de vorm van het Integrated Crop Management (ICM) raamwerk. Dit raamwerk gaat niet langer over specifieke teelten, maar brengt maatregelen samen voor de optimalisatie van de beheersing van ziekten, plagen en onkruiden over gehele gewasrotaties (bouwplannen).

In de vijf pijler waarop ICM is gebaseerd staat 'Gewasdiversiteit in ruimte en tijd' trots bovenaan, en niet zonder reden. Gewasdiversiteit, de afwisseling van gewassen in diverse dimensies, is namelijk een essentieel onderdeel van elke geïntegreerde gewasbeschermingsstrategie. Gewasdiversiteit in de tijd (gewasrotatie) wordt vrijwel zonder uitzondering in enige vorm al door alle akkerbouwers toegepast, maar gewasdiversiteit in de ruimte, en dan vooral binnen hetzelfde perceel, krijgt in Nederland pas weer sinds de jaren 2000 weer serieuze aandacht.

Onderzoeken over hoe maatregelen als strokenteelt, mengteelten, agroforestry en het mengen van rassen invloed hebben op zaken als bodemgezondheid, biodiversiteit en de beheersing van ziekten, plagen en onkruid zijn weer aan de orde van de dag.

1.2 Focus literatuuronderzoek

Het klinkt logisch dat het verhogen van de gewasdiversiteit bijdraagt aan de beheersing van ziekten, plagen en onkruiden, en dit wordt dan ook veelvuldig genoemd in publicaties in diverse vormen en van diverse kwaliteit. In dit literatuuronderzoek ligt de focus op het verzamelen van informatie uit hoog-kwalitatieve publicaties die de invloed van het verhogen van gewasdiversiteit middels diverse maatregelen daadwerkelijk gekwantificeerd hebben, en samen te vatten welke lessen daaruit te leren zijn.

2 Werkwijze

2.1 Verzameling van bronnen

Om in de zeer grote hoeveelheid wetenschappelijke literatuur die over de effecten van gewasdiversiteit verschenen is een goede selectie te kunnen maken zijn de volgende randvoorwaarden gesteld:

1. Reviews zijn alleen gebruikt om de algemene visie op gewasdiversificatie te schetsen
2. Er wordt niet gekeken naar algemene effecten op bodemgezondheid en/of ecosysteemdiensten
3. Onderzoek aan tropische gewassen en teeltsystemen is niet meegenomen
4. Onderzoek uitgevoerd in sterk van het Nederlandse klimaat afwijkende omstandigheden is niet meegenomen
5. Focus op de rol die diversificatie van teeltsystemen in de ruimte kan hebben op het beheren van ziekten, plagen en onkruiden

Omdat de gewenste focus van het literatuuronderzoek ligt bij hoog-kwalitatief onderzoek dat is uitgevoerd in Nederland met gewassen die passen in een 'typisch' Nederlandse gewasrotatie is voor de selectie van geschikte literatuur eerst gekeken naar Nederlandse onderzoeken of Europese onderzoeken met proeven in het Noordwesten van Europa. In het bijzonder is gebruik gemaakt van rapportages uit de Europese projecten DiverIMPACTS en ReMIX en publicaties gebaseerd op onderzoek in het strokenteeltproject van de B.V. ERF (Exploitatie Reservegronden Flevoland) of de PPS Gewasdiversiteit.

2.2 Beperkingen van het onderzoek

Het totale literatuurbestand waarbinnen een selectie moest worden gemaakt is bijzonder omvangrijk, en de tijd waarbinnen de selectie moest worden gemaakt en geanalyseerd was beperkt. Om zo goed mogelijk te voldoende aan de randvoorwaarden en een duidelijke focus op onderzoeken in de Nederlandse context te houden is ervoor gekozen sterk in te zetten op een aantal bekende projecten/initiatieven. Naar de beste kennis van de auteur zijn de gekozen projecten/initiatieven de momenteel (2024/2025) grootste en/of meest relevante projecten in de Nederlandse context. Deze hebben vooral in de afgelopen 24 jaar plaatsgevonden, en er is voor wat betreft de internationale wetenschappelijke literatuur dan ook vooral gezocht naar publicaties van de afgelopen 24 jaar.

2.3 Leeswijzer

De bronnen zijn in twee delen verzameld en beschreven. Elk hoofdstuk begint met een verloop van de kennis van gewasdiversificatie op basis van overkoepelende reviews. Vervolgens zijn de beschikbare bronnen opgesplitst in de subonderdelen 'Strokenteelt', 'Mengteelt' en 'Rassenmengsels' en aldus beschreven.

In hoofdstuk 3 is de informatie beschreven die oftewel afkomstig is uit Nederlandse bronnen of waarvan de data afkomstig is uit Nederlandse proeven. In hoofdstuk 4 is de informatie beschreven uit de internationale wetenschappelijke literatuur (binnen de randvoorwaarden zoals gesteld in §2.1). In hoofdstuk 5 is een overkoepelende discussie en conclusie geschreven, die zich vanwege de omvangrijkheid van het onderwerp sterk beperkt tot de hoofdlijnen.

3 Informatie gepubliceerd in Nederlandse onderzoeksrapporten en vakbladen

3.1 Algemeen kennisverloop gewasdiversificatie

Dat de afwisseling van gewassen in het bouwplan zinvol is, is al zeer lang bekend. In het bijzonder voor het behoud van bodemstructuur en de beheersing van bodemgebonden ziekten, plagen en onkruiden, alswel als het voldoen aan bepaalde wet- en regelgeving is rotatie van de gewassen in de tijd (diversificatie in de tijd) noodzakelijk. Er is in het verleden door Wageningen Research Open Teelten (destijds nog het PAVG genaamd) tientallen jaren onderzoek gedaan aan gewasrotaties en de grenzen daarvan (Bosch, 1989). Zo werd onder meer duidelijk dat in nauwere rotaties van aardappel (*Solanum tuberosum*) (1:6 tot 1:3) verwerlkingsziekte (*Verticillium dahliae*), stengelrot/lakschurft (*Rhizoctonia solani* AG 3) en netschurft (*Streptomyces* spp.) in dichtheid en mate van aantasting toenamen op zware kleigrond (Hoekstra, Lamers, & Zwanepol, 1993). Op iets lichtere gronden bleken ook aardappelcysteaaltjes (*Globodera pallida/rostochiensis*) een probleem (Hofmeester, Bos, & Wijnands, 1995). In suikerbieten (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* var. *altissima*) namen de besmettingen en schadeniveaus veroorzaakt door de bodemschimmel *Aphanomyces cochlioides* toe naarmate in nauwer verband suikerbieten werden geteeld in het veenkoloniale gebied (Noordoost Nederland) (Wijnholds & van den Berg, 1995). Bij bloemkool (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) gaf *R. solani* AG 2-1 (zwartpoten) problemen en bij de uien (*Allium cepae*) *Sclerotium cepivorum* (witrot), beide in de proeftuin te Zwaagdijk (Zwart-Roodzant, Bosch, Kreuk, & Stokkers, 1998; Zwart-Roodzant, Rovers, Stokkers, & Zwanepol, 1998). Dit is slechts een greep uit het in de jaren ’80 en ’90 uitgevoerde vruchtwisselings-onderzoek, er zijn veel meer voorbeelden maar het voert te ver deze hier allemaal uit te werken. Het belang van rotatie in de tijd was in ieder geval toen ook al goed bekend.

Ook in die tijden werd er al gewerkt aan het verminderen van de afhankelijkheid van synthetische chemische gewasbeschermingsmiddelen (GBM), bijvoorbeeld in het Meerjarenplan Gewasbescherming (1990-2000). De geïntegreerde akkerbouw (Vereijken & Wijnands, 1990) en de invloed van gewasecologie (toen nog oecologie) (Hoogerkamp & Rabbinge, 1990) kwamen meer naar de voorgrond. Hoogerkamp & Rabbinge (1990) schrijven al over rassenmengsels, maar nog niet direct in de zin het actief verbreden van de gewasdiversiteit. In een beschrijving van hoe de biologische akkerbouw- en vollegrondgroenteteelt omgaan met de beheersing van ziekten, plagen en onkruiden wordt gewasdiversificatie genoemd als nuttige maatregel tegen met name niet gewas-specifieke en mobiele organismen (bladluizen, *Botrytis cinerea*), evenwel zonder dat daarbij onderzoeken of data worden genoemd (Booij, den Belder, & de Visser, 2002).

In een deskstudie naar de mogelijkheden van het beheren van ziekten, plagen en onkruiden worden naast de ‘cash crops’ ook tussengewassen (gewassen die we nu groenbemesters noemen, veelvuldig genoemd (de Boer & Lamers, 2005). Alterra beschrijft in een literatuurrapport de samenhang tussen (bio)diversiteit en het belang voor de weerbaarheid van systemen tegen (a)biotische stress, maar geeft ook aan dat deze met name voor bodemgebonden ziekten en plagen nog slecht zijn uitgewerkt (Faber et al., 2009).

Het blijft vervolgens vanuit het Nederlandse onderzoek even stil voor wat betreft een overkoepelende visie op het gebied van ruimtelijke gewasdiversificatie, tot in 2019 verschillende vormen van gewasdiversificatie in de ruimte genoemd worden als belangrijke bouwstenen voor een biodiverse akkerbouw, waarbij ze volgens de auteurs onder meer een rol in de gewasbescherming zouden kunnen spelen (Dawson et al., 2019). Dit sloot ook aan bij een van de missies die het ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij (LNV) destijds stelde: “*Een gezonde, robuuste bodem en teeltsystemen gebaseerd op agro-ecologie zonder emissies naar grond- en oppervlaktewater*”. Tevens paste gewasdiversificatie ook goed bij de doelstellingen uit de ‘Toekomstvisie Gewasbescherming 2030’, de Europese ‘Kaderrichtlijn Water’, het ‘Deltaplan Biodiversiteit’ en het door de sectoren zelf opgestelde ‘Actieplan Plantgezondheid’ (Riemens et al., 2019).

In de tussentijd waren er wel diverse projecten van start gegaan met verschillende vormen van gewasdiversificatie als onderwerp. Zo ging de B.V. ERF (Exploitatie Reservegronden Flevoland) vanaf 2014 aan de slag met een strokenteeltexperiment dat later uitgroeide tot een proeflocatie met 100 hectare strokenteelt. De Europese projecten ReMIX (over mengteelten voor een weerbare Europese landbouw, tegenwoordig (2023-2027) opgevolgd door CropMIX) ging in 2017 van start. Een soortgelijk project over gewas-diversificatie in de breedte (niet alleen mengteelt maar ook strokenteelt en nieuwe gewassen) begon in hetzelfde jaar. De resultaten van de proeven die hierin zijn uitgevoerd, voor zover in het Engels beschikbaar, zijn beschreven in § 3.2 en verder of § 4.2 en verder afhankelijk van waar de proeven zijn uitgevoerd. Meest recent is de PPS Gewasdiversiteit (volledige titel: 'Transitie naar een op ecologie gebaseerde kringloop-landbouw door toepassing van gewasdiversiteit') die in 2020 is gestart en eind 2024 afloopt.

In de overkoepelende zin werd er tussen 2019 en 2024 vooral geschreven over het nut van gewasdiversificatie voor plaagbestrijding (Van Rossum, Wäckers, Janssen, & van Rijn, 2022), microbiomen (Abreu, de Boer, & Raaijmakers, 2023), biodiversiteit (van Doorn et al., 2023) en milieu (van Os, de Vries, Fuchs, & Sluijsmans, 2023). In een belangrijke tussenrapportage voor de uitvoering van de 'Toekomstvisie Gewasbescherming 2030' genaamd 'De Staat van Plantgezondheid 2023' wordt gewasdiversiteit nog steeds aanbevolen als verder in te investeren maatregel voor weerbare teeltsystemen, maar wordt tegelijkertijd aangegeven dat deze oplossingsrichting net zoals veel andere nog onvoldoende is ontwikkeld (Riemens et al., 2023).

3.2 Strokenteelt

In een proef op de Broekemahoeve te Lelystad werden vijf jaar lang (2010-2014) twee biologische teeltsystemen vergeleken, 'Bio-standaard' (volvelds) en 'Bio-divers' (met stroken) (voor overige specificaties, zie rapport), en werd er gekeken naar (de onderdrukking van) ziekten en plagen in aardappel. Voor aardappel had aantasting door Phytophthora (*P. infestans*) de grootste negatieve invloed op de opbrengst. Door de vele verschillen waren de niveaus van aantasting lastig te vergelijken. Wanneer alleen gekeken werd naar de aantasting van het ras 'Ditta' was er in het 'Biodivers'-systeem een gemiddelde reductie van de Phytophthora aantasting van 13.6% die statistisch betrouwbaar was. De gemiddelde opbrengst van het 'Biodivers'-systeem was ook betrouwbaar 4 ton/ha hoger (van Wijk, Sukkel, & Gruppen, 2015). Echter was de invloed van het moment van de eerste infectie, het verloop van de epidemiologie en dus de invloed van het weer heel groot. Ook het moment van branden van de systemen lag vaak dicht bij elkaar.

In dezelfde proef werd gekeken naar de prestaties van zomertarwe, waarbij met name ook werd gekeken naar de aantasting door gele (streepjes)roest (*Piccuna striiformis*) en bladluizen. Vanwege financiering zijn niet in alle jaren dezelfde waarnemingen en bepalingen gedaan. In dit geval kijken we naar de vergelijking tussen het 'Biodivers'-systeem (1 ras) met het 'Bio-standaard'-systeem (1 ras) voor de jaren waarin in beide systemen dezelfde waarnemingen zijn gedaan (om de vergelijking zuiver te houden). Helaas blijft er dan alleen 2011 over, een jaar waarin er veel druk was van gele roest. Bij een proeflocatie in Ens waarin zowel in de strokenteelt als in de volveldse teelt hetzelfde ras is gezaaid (cv. 'Dippes Boredeaux)' is de aantasting door gele roest op de bovenste 4 bladeren (de qua fotosynthese meest actieve bladeren) iets hoger in het 'Bio-standaard'-systeem als in het 'Bio-divers'-systeem (van Wijk, Sukkel, & Gruppen, 2016). De verschillen zijn voor roest echter navenant klein (ca. 10% afgestorven bladoppervlak), en het verschil in opbrengst is dan ook niet groot. 'Bio-divers' (3.5 ton/ha) oogst 0,5 ton/ha meer als 'Bio-standaard' (3 ton/ha).

In een literatuurstudie van Allema et al. (2020) wordt genoemd dat in strokenteelt de breedte van de strook een effect heeft op de bladluizendruk (samen met de gewascombinatie uiteraard). Er wordt verwezen naar een onderzoek met strokenteelt van suikerbiet in combinatie met graan (graansoort niet benoemd), waarbij er significant minder luizen zijn in vergelijking met de controle. Er wordt niet benoemd of en zo ja in welk gewas er minder luizen zijn, of dat het om een totaaltelling gaat. Een ander onderzoek in Canada naar strokenteelt met sojabonen (*Glycine max*) noemt dat stroken van 18 of 36 meter breed 33-55% minder luizen hadden als 'stroken' van 180 meter breed (Allema et al., 2020).

In een strokenteelt experiment op twee proeflocaties in Nederland zijn diverse vormen van strokenteelt van aardappel in 3 of 6 meter brede stroken van een vatbaar ras (cv. 'Agria') getoetst t.o.v. een volveldse referentie voor een onderdrukkend effect op Phytophthora. De verschillende behandelingen werden met elkaar vergeleken op basis van het aantal groeidagen sinds het waarnemen van de eerste infectie totdat ze volgens de Nederlandse wet- en regelgeving gebrand moeten worden (20 bladeren/m^2 of meer dan 1%/ha aangetast). Uit deze analyse bleek dat in 2017 de volvelds referentie ca. 4 dagen na de eerste infectie gebrand moest worden, de 6 meter-stroken na ca. 7 dagen en de 3 meter-stroken na ca. 12 dagen. De data van de andere jaren (2010-2016) werden minder uitgebreid geanalyseerd en in 2010 en 2015 was er maar één datapunt per seizoen beschikbaar voordat de planten moesten worden gebrand. Wordt de data van deze jaren samengenomen dan is de mediaan van de infectiescore significant lager voor de stroken dan voor de volvelds referentie (specifieke infectiescores of opbrengsten worden niet genoemd) (Ditzler, Van Apeldoorn, Schulte, Tittonell, & Rossing, 2021).

Juventia et al. (2021) bestudeerden door herbivoren veroorzaakte schade en opbrengst van sluitkool of bloemkool (afhankelijk van onderzoekslocatie) in biologische teeltsystemen met diverse ontwerpen van strokenteelt op vier verschillende locaties in Nederland. In drie van de vier locaties hadden de strokenteelt minder herbivorenschade dan de volveldse referentie, maar de verschillen waren klein (ca. 3% t.o.v. 6% op twee locaties, 11% t.o.v. 13% op de derde locatie) en niet significant. De verschillen tussen de verschillende strokenteeltontwerpen waren nog kleiner en ook niet significant, op één ontwerp (24 meter strook t.o.v. volveldse referentie) op één locatie na. Op deze locatie had de 24 meter strook significant meer herbivorenschade dan alle andere ontwerpen, inclusief de volveldse referentie. De opbrengsten (gemeten als kilo's vermarktbaar gewicht) volgden dit patroon niet en waren veelal niet significant verschillend tussen ontwerpen binnen de locaties, behalve het ontwerp 3 meter-strook t.o.v. pixelteelt op één locatie, waarbij de 3 meter-strook een significant hoger vermarktbaar gewicht had (Juventia, Rossing, Ditzler, & van Apeldoorn, 2021).

Een proef met bloemkool in stroken van 6, 12, 24 of 48 meter breed, met gras-klaver of aardappel als naastgelegen gewas werd getoetst in twee jaren (2018 en 2019) in het strokenteeltexperiment van ERF. Onderwerp van de studie was of strokenteelt een effect had op de aanwezigheid en activiteit van spinnen, roof- en loopkevers. In 2018 waren er veel minder geleedpotigen als in 2019 (respectievelijk 1.382 en 5.841 gevangen individuen in de potvallen). Hoe breder de stroken waren, hoe minder spinnen en minder diversiteit van loopkevers er was, maar ook hoe hoger de roofkever concentratie was. Wel waren er verschillend tussen de geslachten bij de loopkevers, en werd voor de roofkevers verwacht dat een niet geoogste strook haver invloed had op de toegenomen activiteit bij bredere stroken. De afnemende spinnenactiviteit had vermoedelijk te maken met de afstand tot de dichtstbijzijnde bloemenstrook. Hoewel de invloed van een naastgelegen gewas/strook dus wel in meerdere gevallen werd vermoed is dit niet verder beschreven (Cuperus, Allema, Bianchi, Rossing, & van Apeldoorn, 2024).

Veldproeven naar de onderdrukkende werking van strokenteelt op Phytophthora werden uitgevoerd op een proeflocatie van de Wageningen Universiteit in Wageningen in 2021, 2022 en 2024. In de stroken werd Engels raaigras (*Lolium perenne*), maïs (*Zea mays*) of veldboon (*Vicia faba*) geteeld en de stroken werden vergeleken met een volveldse teelt van aardappel. In alle jaren was de aantasting door Phytophthora significant hoger in de volveldse referentie dan in de strokenteelt met gras of maïs. De strokenteelt met veldboon verlaagde het aantastingsniveau niet. Qua opbrengst deed de strokenteelt met gras het ook significant beter dan de volveldse referentie, met een opbrengst die 31-33% hoger was in respectievelijk 2021 en 2022.

Hier merken de auteurs wel op dat het weer en het verloop van de epidemie in de onderzochte jaren zeer verschillend was en dat dit tussen jaren een groot effect had op de resultaten. Hoe vroeger de eerste infectie werd waargenomen en hoe sneller de epidemie verliep, hoe kleiner de effecten werden. Ook waren er grote verschillen tussen verschillende veldjes, vanwege de sterke haardvorming van Phytophthora. Als de vergelijking werd gemaakt tussen de strokenteelten op basis van hoeveel dagen een behandeling erover deed om 10% aangetast te worden nadat de eerste infectie was opgetreden vertraagden de stroken dit moment met 1-3 dagen.

Omdat in Nederland stroken als afzonderlijke velden worden gezien, zou je per strook kunnen branden en zo de groei van de knollen zo lang mogelijk in stand houden. Voor biologische telers is dit effect mogelijk interessant, maar voor gangbare telers is het effect te klein als je rekening houdt met de efficiëntie van fungiciden en het extra werk dat strokenteelt oplevert (Homulle et al., 2024).

3.3 Mengteelt

In een deskstudie is een mengteelt van spruitkool (*Brassica oleracea* convar. *Olorecea* var. *gemmifera*) of sla (*Lactuca* spp.) met vaste planten salie (*Salvia* spp.) of breedbladige ereprijs (*Veronica* spp.) is doorgerekend. Met gemiddelde kosten en baten lijkt deze teelt op papier uit te kunnen, hoewel de auteur stelt dat rekening gehouden dient te worden met in het bijzonder luisdruk, die al in de spruitkool of sla aanwezig kan zijn als de vaste planten gaan bloeien (Kodde, Van Den Oever, Schenk, & Trouwborst, 2003). Hetzelfde geldt voor de teelt van spruitkool of sla in combinatie met een spillenteelt (eerste drie jaar) van een laanboom, in dit geval werd als voorbeeld een sierappel (*Malus* spp.) gebruikt. Hierbij moet echter wel rekening worden gehouden met de regels voor uitgangsmateriaal (bijvoorbeeld dat grond vrij moet zijn van aardappelcysteaaltjes) en dat de teelt van laanbomen een specialistische teelt is. Hiervoor is waarschijnlijk hulp van een laanboomkweker nodig, waar dan ook (een groot deel van) de opbrengsten van de laanbomen heen gaan. Deze opbrengsten komen dan dus niet of slechts zeer beperkt ten goede aan het bouwplansaldo van de teler in kwestie (Kodde et al., 2003).

Het inzaaien van bladrammenas (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*) als mengteelt met gladiolen bleek nauwelijks invloed te hebben op de mate van besmetting van gladiolen met het door (*Para*)*Trichodorus* spp. overgebrachte Tabaksratelvirus (TRV) (de Werd, Hiddink, & van Bruggen, 2005). In kasexperimenten werd getoetst of mengteelten van spruitkool en gerst (*Hordeum aestivum*) of triticale (*X Triticosecale*) en witte klaver (*Trifolium repens*) weerbaarder waren tegen de bodemziekten Rhizoctonia rot (*R. solani* AG 1), Fusarium verwelking van vlas (*Fusarium oxysporum* f. sp. *linii*) en tarwehalmdoder (*Gaeumannomyces graminis*) dan volveldse teelten van dezelfde gewassen. Dit bleek niet het geval. Sterker nog, voor Fusarium verwelking van vlas was er een significant hogere ziektedruk na de mengteelt spruitkool en gerst dan wanneer alleen gerst werd geteeld. Ook de samenstelling van de microbiomen en hun activiteit (op basis van CO_2-productie) bleken niet hoger in de mengteelten in vergelijking met een volveldse teelt (GA Hiddink, Termorshuizen, Raaijmakers, & van Bruggen, 2005).

Klaver wordt in veel groenbemestermengsels, als enkel of tweejarig gewas samen met gras, en soms ook als onderzaai geteeld, in het bijzonder vanwege de nalevering van stikstof die in de wortelknolletjes wordt vastgelegd. Omdat de teelt van klaver problemen op kan leveren met diverse aaltjes zoals het stengelaaltje, (*Ditylenchus dipsaci*), het klavercysteaaltje (*Heterodera trifolii*), diverse wortelknobbelaaltjes (*Meloidogyne* spp.), het wortellesieaaltje, (*Pratylenchus penetrans*), en (*Para*)*Trichodorus* spp. is middels een literatuurstudie uitgezocht welke resistenties er bij de klavers bekend zijn als het gaat om deze aaltjes.

Voor het stengelaaltje bleek enige mate van resistentie aanwezig in een aantal rassen rode klaver (*T. pratense*) die zorgen voor 40-85% minder aantasting, maar vermeerdering wordt niet benoemd. In witte klaver waren nauwelijks resistenties bekend. Een aantal wilde soorten was zelfs onvatbaar. Er wordt wel gewaarschuwd dat het stengelaaltje pathotypen kent (tegenwoordig wordt er naar verwezen als diverse 'rassen' stengelaaltje) en dat het dus lastig is te zeggen of al deze vermeldingen van resistenties nou terecht zijn of niet. Resistentie tegen het klavercysteaaltje bleek voor te komen in zowel witte als rode klaver, hoewel het meeste veredelingswerk met witte klaver is uitgevoerd. Het gaat in alle gevallen om partiële resistenties. Er was geen informatie beschikbaar over resistentie tegen het betreffende aaltje in wilde klaversoorten (Colon, 2006).

Over resistenties tegen wortelknobbelaaltjes is in de wetenschappelijke literatuur weinig bekend. Wel wordt verwezen naar het werk van een proef waarin diverse klaversoorten en -rassen worden getoetst op de vermeerdering van zowel wortelknobbel- als wortellesieaaltjes. Er worden voor de wortelknobbelaaltjes (*M. chitwoodi*, *M. fallax* en *M. hapla*) weinig verschillen in vermeerdering gevonden, behalve voor het witte klaverras 'Aran' wat voor alle wortelknobbelaaltjes de laagste vermeerdering geeft, en voor *M. chitwoodi* en *M. fallax* ook een statistisch betrouwbaar lagere vermeerdering geeft (van Beers, Korthals, & Hartsema, 2003). Er zijn ook klaversoorten (niet genoemd) die geen wortelknobbelaaltjes vermeerderen, maar deze soorten zijn niet kruisbaar met de in Nederland toegepaste klaversoorten (Colon, 2006).

Resistentie tegen het wortellesieaaltje was niet of nauwelijks bekend, hoewel melding wordt gemaakt van een kastoets waarin Alpenklaver (*T. alpinum*) en akkerklaver (*T. aureum*) geen enkele vermeerdering gaven. Dit effect kon evenwel in een veldproef niet worden geëvenaard, mogelijk door 'vervuiling' van de veldproef met vatbare planten. In rode klaver bleek enige variatie in infectieresistentie te zijn, met enkele 'redelijk' resistente lijnen (geen getallen genoemd) (Colon, 2006). De enige proef met (*Para*)*Trichodoriden* en klaver bleek wederom het werk van Van Beers (2003) te zijn, waaruit bleek dat Alexandrijnse klaver (*T. alexandrinum*) en Perzische klaver (*T. resupinatum*) slechte waarden zijn voor *Paratrichodorus teres*. De besmettingen die overbleven waren respectievelijk 7-31 en 6-12 aaltjes/100 mL grond bij een inoculumdichtheid van 60-71 aaltjes/pot. Overigens vermeerderden alle klaversoorten en -rassen sterk het tabaksratelvirus (van Beers et al., 2003).

In een literatuuronderzoek haalt Van Zuilichem (2006) een flink aantal voorbeelden van (pogingen van) toepassing van gewasdiversificatie door middel van mengteelten ter beheersing van ziekten en plagen aan:

In mengteelten van broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) met aardappel en uien bleek minder witte roest (*Albugo candida*) voor te komen waardoor de opbrengst van de broccoli verhoogd werd. Op de aardappels was er noch qua ziekten en plagen noch qua opbrengst een effect. De uien gaven een lagere opbrengst als ze naast broccoli werden geteeld door schaduwwerking (van Zuilichem, 2006).

Selderij als mengteelt met prei had geen invloed op de hoeveelheid trips in de prei, maar gaf een betere onkruidonderdrukking in vergelijking met een volveldse teeltprei. Hierdoor nam de opbrengst van de prei bij een zomerteelt met 17% en bij een herfstteelt met 37% toe. Een mengteelt van peen met prei verminderde het aantal tripslarven op de prei met 50%, maar had geen invloed op het aantal volwassen trips op een locatie. Op een andere locatie had de peen wel een effect op het aantal volwassen trips in de prei, wat een 47-72% lagere hoeveelheid zwaar aangetaste prei tot gevolg had (van Zuilichem, 2006).

Een mengteelt van veldboon en aardappel getoetst in twee jaren had geen significante gevolgen voor de ziekte- of plaagdruk. Wanneer de gewassen in de rij gemengd waren ontstond een toename van de aardappelziekte (*Phytophthora infestans*), waarschijnlijk door een gunstiger microklimaat voor de schimmel vanwege de veldboonplanten die snel hoog opschieten (van Zuilichem, 2006).

Een mengteelt van prei met stamslaboon (*Phaseolus vulgaris*) gaf significant minder tripsschade maar de stamslaboon concurreerde zo sterk met de prei dat de opbrengst minder dan de helft was van de opbrengst in de volveldse. Uit een onderzoek naar de optimale mengverhouding tussen kool en peen ter beheersing van bladluizen en de koolmot (*Plutella xylostella*) bleken geen betrouwbare verschillen te bestaand tussen een 1:1, 1:3 en een 1:5 mengverhouding na twee jaar onderzoek (van Zuilichem, 2006).

Na twee jaar onderzoek bleek er geen betrouwbaar verschil te zijn tussen de hoeveelheid aardvlooien op witte kool (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *alba*) in een volveldse teelt of in een mengteelt met Chinese kool (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). Ook Chinese kool tussen de aardappelen leverde geen verminderde luisdruk op in de aardappelen. Bieslook (*Allium schoenoprasum*) tussen de witte kool of bruine mosterd (*Brassica juncae*) tussen de prei ter beheersing van respectievelijk de koolmot en preimot (*Acrolepiopsis assectella*) werkte wel, in de zin dat er meer eieren werden afgezet op de vanggewassen dan op de hoofdgewassen. Effecten op opbrengst worden niet genoemd (van Zuilichem, 2006).

Bukovinszky (2008) schrijft dat de reactie van verschillende plaaginsecten afhankelijk is van hun zoekgedrag. Hij benoemt hierbij drie voorbeelden: de melige kolluis (*Bravicryne brassica*) vliegt vooral passief met de wind mee, het koolwitje (*Pieris rapae*) kan goed vleigen en neemt voedselplanten visueel waar, en de koolmot kan goed vliegen en neemt voedselplanten waar via hun geur.

Hij schrijft verder dat volgens de 'enemy release' hypothese plaagorganismen in mengteelten beter bestreden zouden kunnen worden door: 1) Een grotere diversiteit aan prooien, 2) De aanwezigheid van schuilplaatsen en voedsel voor natuurlijke vijanden en 3) Een ingewikkeldere leefomgeving waardoor volledige uitroeiing van de prooi niet zo waarschijnlijk is. Er zijn echter net zo goed aanwijzingen dat natuurlijke vijanden in mengteelten juist minder effectief zijn.

Bukovinszky geeft als voorbeeld het prooizoekgedrag van sluipwespen, die dat vaak op basis van specifieke geurstoffen doen. Uit een experiment naar de invloed een mengteelt van spruitkool en witte mosterd (*Brassica alba*) op het zoekgedrag van de specialistische koolmotparasiet *Diadegma semiclausum* (geen Nederlandse naam), blijkt dat deze verward kan raken door de sterk aantrekkende mosterdgeurstoffen en daardoor meer tijd nodig heeft om zijn prooi te vinden. In een mengteelt van gerst (*Hordeum vulgare*) en spruitkool bleek de parasitaire wesp ook in zijn zoekgedrag belemmert, maar in dit geval door de complexere gewasstructuur (Tibor Bukovinszky, Gols, Hemerik, Van Lenteren, & Vet, 2007; T Bukovinszky, Gols, Posthumus, Vet, & Van Lenteren, 2005). Bukovinszky concludeert dat het lastig blijkt dan gedacht om goede richtlijnen op te stellen voor mengteelt, maar dat voor een optimale samenstelling op het gebied van de beheersing van plaaginsecten in ieder geval ook het zoekgedrag van natuurlijke vijanden zou moeten worden meegenomen (Tibor Bukovinszky, 2008).

Hiddink (2009) trachtte in zijn promotieonderzoek de vinger te krijgen achter de onderdrukking van bodemgebonden pathogenen in mengteeltsystemen. Hij keek hiervoor in het bijzonder naar de onderdrukking van tarwehalmdoder (een bodemschimmel van granen) en knolvoet (*Plasmodiophora brassicae*, een protist) in biologische en gangbaar beheerde gronden in mengteelten van spruitkool en gerst of triticale en witte klaver. Na twee jaar onderzoek bleek dat in de mengteelt van spruitkool en gerst in het eerste jaar knolvoet significant minder tot ontwikkeling kwam, maar dit verschil verdween in het tweede jaar. Tarwehalmdoder bleef wel onderdrukt worden in de mengteelt van triticale met witte klaver. In aanvullende potproeven bleek dat dit laatste effect in ieder geval vijf cycli van gewassen in stand bleef. Het effect werd waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in microbiële activiteit, die hoger was in de mengteelt met klaver. Hidding stelt dat het ziekteonderdrukkende effect van mengteelten op bodempathogenen vooral gezocht moet worden in de rhizosfeer, de eerste millimeter grond rondom de wortels die het meest direct wordt beïnvloedt door wortelexudaten. Hij waarschuwt ook voor overgeneralisatie, omdat de onderdrukkende werking (voor zover het geen algemene weerbaarheid betreft) mogelijk pathogeen-specifiek is en resultaten dus niet zomaar te extrapoleren zijn tussen teelten of organismen (Gerbert Hiddink, 2008; GA Hiddink, 2009).

Een poging tot het telen van een mengteelt van maïs en witte lupine (*Lupinus albus*, cv. 'Dieta') of veldboon op twee locaties in Friesland mislukte door het optreden van vraatschade door hazen, en aantasting door Botrytis (mogelijk *Botrytis fabae*) en Ascochyta bladvlekkenziekte (*Ascochyta fabae* (veldboon), *Pleiochaeta setosa* (lupine)) (Timmer, Groten, & Raaphorst, 2012).

Blom (2019) schrijft in een vakblad (BioKennis) dat komkommerkruid (*Borage officinalis*) en Facelia (*Phacelia tanacetifolia*) goede planten zijn om in mengsels te gebruiken die bedoeld zijn om de natuurlijke vijanden van trips aan te trekken (Blom, Brandemann, Huiting, & van der Maarl, 2019).

In een literatuurstudie van Allema et al. (2020) wordt beschreven dat in een mengteelt van gerst met erwt (*Pisum sativum*) er 30% minder bladluizen in de gerst zitten. Er wordt niet vermeld of deze zich naar de erwt hebben verplaatst of niet. Verder schrijven ze over een tweejarig onderzoek met pootaardappel in mengteelt met gerst of een mengteelt gerst met wikke (soort wikke niet benoemd), en dat er daar geen significante verschillen waren in de aantallen bladluizen of in opbrengst (Allema et al., 2020).

Juventia et al. (2021) bestudeerden door herbivoren veroorzaakte schade en opbrengst van sluitkool of bloemkool in biologische teeltsystemen met diverse maatregelen op vier verschillende locaties in Nederland. Een van de maatregelen was een bloemstrook langs de gewassen (vanwege het kleine oppervlak bloemstrook t.o.v. het oppervlak hoofdgewas hier onder 'Mengteelten' geschaard). Het betrof een complex mengsel (zie publicatie voor exacte samenstelling).

Het bleek dat de rijen kool direct langs de bloemstrook (de randrijen) in hoge mate door herbivoren werden beschadigd. Gekeken naar de volledige strook langs de bloemstrook nam de totale hoeveelheid schade door herbivoren echter met ca. 50% af. Er was geen significant verschil in door entomopathogene schimmels of sluipwespen geparasiteerde rupsen (Juventia et al., 2021).

De invloed van mengteelten op de vermeerdering van plantenparasitaire aaltjes (PPN) is vooralsnog vrij beperkt onderzocht, hoewel er enige projecten gaande zijn. Er is zeer beperkt informatie over mengsels van groenbemesters, bijvoorbeeld van resistente bladrammenas met de goede waard Japanse haver (voor het maïs wortelknobbelaaltje, *Meloidogyne chitwoodi*). Uit deze proeven blijkt dat zodra er een waard in het mengsel zit de populatie toeneemt, en dat afhankelijk van de verhouding wel/niet waardgewassen de uiteindelijke populatiedichtheid dichter bij een monoteelt niet-waard of een monoteelt wel waard zit (Visser, Teklu, Brinkman, & Molendijk, 2022). Een soortgelijk effect is bekend van het wortellesieaaltje (*Pratylenchus penetrans*), in complexe mengsel van groenbemesters (>3 soorten), waarbij, zeker als er meerdere waarden in het mengsel aanwezig zijn, de populatie van het aaltje sterk toenam (Leendert Molendijk, pers. comm.).

3.4 Rassenmengsels

In een proef op de Broekemahoeve te Lelystad werden zes jaar lang (2010-2015) twee biologische teeltsystemen vergeleken, 'Bio-standaard' (volvelds) en 'Bio-divers' (met stroken, al dan niet met rassenmengsels) (voor overige specificaties, zie rapport), en werd er gekeken naar (de onderdrukking van) ziekten en plagen in aardappel. Voor aardappel had aantasting door Phytophthora (*P. infestans*) de grootste negatieve invloed op de opbrengst. In 2010 werd naast de teelt in stroken gewerkt met aardappelstroken met een mengsel van rassen (cv. 'Ditta', 'Agria' en 'Toluca'), die respectievelijk 'matig vatbaar', 'vatbaar' en 'resistent' zijn voor Phytophthora-aantasting van het loof. Het percentage aangetaste bladeren op 27 juli was echter gelijk in het 'Bio-divers'-systeem tussen de stroken met één ras of het rassenmengsel (van Wijk et al., 2015).

In dezelfde proef werd gekeken naar de prestaties van zomertarwe, waarbij met name ook werd gekeken naar de aantasting door gele (streepjes)roest (*Piccuna striiformis*) en bladluizen. Vanwege financiering zijn niet in alle jaren dezelfde waarnemingen en bepalingen gedaan. In dit geval kijken we voor een zuivere vergelijking naar de rassenmengsels geteeld in het systeem 'Bio-divers' met de monoteelt van één ras in hetzelfde systeem. De rassenmengsels verschilde tussen de diverse jaren, in 2010 en 2011 werd bestond het rassenmengsel uit cv.'s 'Lavett', 'Thasos' en 'Aurum', en in 2014 en 2015 uit cv.'s 'Quintus', 'Lavett' en 'Lennox'.

In 2010 is alleen naar bezetting door luizen gekeken. Er is in dat jaar geen significant verschil tussen de systemen 'Bio-standaard' en 'Bio-divers' en ook niet tussen de monoteelt en het rassenmengsel. In 2011 is alleen gekeken naar bladafsterving door gele roest. Op 22 juni dat jaar is de tarwe in de monocultuur minder zwaar aangetast dan het rassenmengsel. Op 15 juli zijn beide systemen en ook de monoteelt t.o.v. het rassenmengsel in percentage afgestorven blad dicht naar elkaar opgeschoven. Door de onderzoekers wordt opgemerkt dat het ras 'Aurum', wat bekend staat als roest-gevoelig, een belangrijke rol speelt in het waargenomen niveau van aantasting.

In 2014 is alleen naar de aantasting door gele roest gekeken. Zowel op 23 mei als op 2 juni sterker in de monoteelt als in het rassenmengsel. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat door weersomstandigheden het rassenmengsel 11 dagen later gezaaid is en er na de laatste waarnemingsdatum nog uitbreiding van de gele roest in het rassenmengsel werd waargenomen. De opbrengsten tussen de monoteelt en het rassenmengsel verschillen nauwelijks van elkaar (hooguit 0,2 ton/ha). Ook tussen het percentage eiwit en het hectoliter-gewicht zat nauwelijks verschil. In 2015 is naar aantasting door gele roest gekeken, en ook trad er enige muizenschade op. De aantasting van gele roest was op alle waarnemingsmomenten (5, 11 en 22 juni) hoger in de monoteelt dan in het rassenmengsel. De opbrengst verschilde iets tussen de monoteelt en het rassenmengsel, met gemiddeld, respectievelijk 4.9 ton/ha en 5.3 ton/ha. De muizenschade trad vooral op in het 'Bio-divers'-systeem (het systeem waarin het rassenmengsel lag). Het aantal muizengaten was het hoogste in de bloemstroken, de naastgelegen tarwestroken, en de weer daarnaast liggen stroken met veldboon/zomertarwe mengsels (van Wijk et al., 2016).

In een literatuurstudie van Allema et al. (2020) is ook gezocht naar publicaties over de effecten van rassenmengsels van granen op de beheersing van bladluizen. Dit leverde wisselende resultaten op, soms werd een lagere populatieontwikkeling van bladluizen waargenomen in de mengsels, of meer predatie door lieveheersbeestjes. Enkele anders onderzoeken zagen echt geen of een minimaal verschil (exacte getallen worden niet gegeven). Veel hangt waarschijnlijk af van de samenstelling van de rassenmengsels (verhouding) en de individuele eigenschappen van de rassen zelf (bijvoorbeeld qua afgifte van vluchtige stoffen) (Allema et al., 2020).

Juventia et al. (2021) bestudeerden door herbivoren veroorzaakte schade en opbrengst van sluitkool of bloemkool (afhankelijk van onderzoekslocatie) in biologische teeltsystemen met diverse ontwerpen van strokenteelt op vier verschillende locaties in Nederland. Een van de ontwerpen was een strokenteelt van graan en sluitkool, waarbij beide geteeld waren als mengsels van twee rassen. Het mengen van rassen leek niet of nauwelijks effect te hebben boven het telen in stroken. Het verschillen tussen de stroken en een volveldse teelt was een niet significant betrouwbare 4% herbivorenschade, en 3% specifiek voor de rassenmengsels. Ook voor het vermarktbare gewicht aan product waren er geen significante verschillen tussen de volveldse teelt, de strokenteelt en de rassenmengsels (Juventia et al., 2021).

4 Informatie gepubliceerd in internationale wetenschappelijke literatuur

4.1 Algemeen kennisverloop gewasdiversificatie

Krupinsky et al. (2002) schreven een sterk review over het risico op ziekten en plagen zowel binnen hetzelfde teeltseizoen als over de jaren heen. Ze gaan hierbij sterk uit van waardplantstatus en de biologie en epidemiologie van specifieke organismen/ziekten. Gewasdiversificatie benoemen ze hoofdzakelijk in de rotatie (in de tijd) en tussen velden (ruimtelijk). Wel benoemen ze al dat een pathogeen met veel waarden (polyfaag), zoals grauwschimmel (*Botrytis cinerea*) of rattenkeutelziekte (*Sclerotinia sclerotiorum*) lastiger via gewasdiversiteit te beheersen zullen zijn vanwege hun capaciteit om zich op veel verschillende gewassen te vermeerderen (Krupinsky, Bailey, McMullen, Gossen, & Turkington, 2002). In hetzelde jaar schreven van Elsas, Garbeva & Salles (2002) over de invloed van gewasdiversificatie door tijd op de (weerbaarheid van) microbiomen. Zij zagen ook in onderzoek dat microbiomen onder grasland weerbaarder waren (gemeten als vertraging van de groei van *Rhizoctonia solani* AG 3) dan microbiomen in de bodems van akkerbouwrotaties. De grootste verschillen in diversiteit tussen de twee vormen van landgebruik werden gevonden in de rhizosfeer (de eerste millimeter grond rondom de wortels), die direct wordt beïnvloedt door wortelexudaten (van Elsas, Garbeva, & Salles, 2002).

Skelsey et al. (2005) proberen met een modelmatige aanpak de invloed van het 'host dilution-effect' (de vermindering van het aantal waarden) op een, door Phytophthora (*Phytophthora infestans*) belaagd, systeem met aardappel (*Solanum tuberosum*) van een gegeven grootte door te rekenen. Zij concludeerden dat, zolang er in de (zeer) wijde omgeving (1 km) vatbare planten voorkomen, mengteelten van vatbare en resistente rassen theoretisch gezien niet of nauwelijks een toegevoegde waarde hebben in de beheersing van de ziekte. Wanneer het model aangepast werd voor rassenmengsels bleek dat het aandeel resistente planten bepalend was voor in hoeverre het rassenmengsel bijdroeg aan de beheersing (Skelsey, Rossing, Kessel, Powell, & Van der Werf, 2005).

Keesing, Holt & Ostfeld (2006) schrijven in een review in de meest systematisch brede zin over soortdiversiteit en het risico op ziekten. Hoewel ze schrijven over ziekteoverdracht op zeer hoog taxonomisch niveau, namelijk 'cross-kingdom' (zowel over ziekten van planten als van dieren) is hun beschouwing van de epidemiologie van pathogenen zeer bruikbaar, ook in plantaardige productiesystemen. Het beschrijven van hun complete systematiek is erg vergaand en buiten de scope van dit rapport, maar in het kort kan de invloed van diversificatie van soorten in een gegeven systeem als volgt worden samengevat. Het meer divers maken van een systeem waarin pathogenen actief zijn heeft (bij het maken van de juiste gewaskeuze voor wat betreft waardplantstatus) theoretisch gezien namelijk vijf gevolgen (Keesing, Holt, & Ostfeld, 2006):

- De dichtheid van het aantal vatbare planten wordt lager
- De kans dat een vatbare, zieke plant langs een vatbare, nog gezonde plant staat wordt kleiner
- De kans dat een virusziekte wordt doorgegeven van een vatbare, zieke plant naar een vatbare, nog gezonde plant staat wordt kleiner (via beperking vectoren)
- De kans dat zieke planten doodgaan voordat ze een andere vatbare plant besmetten wordt groter (door 'obstructie' van de verspreiding met niet-vatbare soorten)
- De kans op herstel van een licht aangetaste plant wordt groter (vooral bij zwakte-parasieten, of waar veelvuldige besmetting en infectie nodig is om schade aan de plant aan te richten)

Hajjar, Jarvis & Gemmil-Herren (2008) benoemen genetische gewasdiversiteit als ook hebbende een effect ziekten en plagen, met als voorbeeld roest en echte meeldauw in granen. Hiervoor worden reducties in aantastingsniveaus geclaimed van 40-80% (vanuit diverse bronnen), maar er bestaan vaak ook grote variaties in tussen de jaren. Welke factoren hieraan ten grondslag liggen, en hoeveel invloed elke factor

heeft durven de onderzoekers niet te zeggen. Wel lijken volgens hen de effecten op pathosystemen met een vector, zoals virusoverdracht door luizen, meer direct (makkelijker uit te leggen) doordat de vector in zijn gedrag beïnvloedt word (Hajjar, Jarvis, & Gemmill-Herren, 2008).
In een review schrijven McCartney et al. (2009) wel over hoe gewasdiversificatie in alle vormen een positieve invloed heeft op ziekten en plagen, maar verwijzen daarna naar een ander review (Newton, Begg, & Swanston, 2009) in plaats van een publicatie met wetenschappelijk verzamelde data (Gregory, Johnson, Newton, & Ingram, 2009). Overigens verwijst ook dat review weer naar een ander review. Ook Juroszek & von Tiedeman (2011) verwijzen voor hun onderbouwing voor de gunstige invloed van gewasdiversificatie naar een ander review.

Hiddink, Termorshuizen & van Bruggen (2010) schrijven in een review over de beperkte hoeveelheid aandacht die bodemgebonden ziekten tot dusver hebben gekregen vanuit onderzoek op het gebied van ruimtelijke gewasdiversificatie. Ze behandelen in dit review zowel strokenteelt, mengteelten en pixelteelt als natuurlijke plantsystemen. Zij vonden dat in 36 publicaties waar daadwerkelijk experimentele data onder lag, 30 publicaties een positief gevolg beschreven van de diversificatie, en zes een negatief effect. De verandering van ziektedruk was evenwel zeer divers, van 63% reductie tot 100% verdubbeling. Het verminderen van het aantal waarden lijkt het meest consistente effect (G. A. Hiddink, Termorshuizen, & van Bruggen, 2010).

Lin (2011) verwijst in haar review wel naar artikelen met experimenteel onderzoek, en benoemd verschillende voorbeelden van hoe diversiteit zowel tussen (mengteelten) als binnen gewassen (rassenmengsels) ziekten en plagen kunnen onderdrukken. Ze noemt bijvoorbeeld het verminderen van aantasting door de rijst 'blast' schimmel door rassenmengsels, en de toepassing van akkerranden met witte en zwarte mosterd (respectievelijk *Brassica alba* en *B. nigra*) om plaaginsecten van zoete maïs (*Zea mays*) te 'vangen' (Lin, 2011).

Bennet et al. (2012) noemen gewasdiversificatie zowel in tijd als in ruimte als opties om de afname van opbrengsten, veroorzaakt door o.a. ziekten en plagen, tegen te gaan. Helaas grijpen ze ter illustratie terug op het aloude en reeds alom bekende voorbeeld van tarwehalmdoder (*Gaemannomyces graminis*) in een inmiddels meer als 30 jaar oud onderzoek (Bennett, Bending, Chandler, Hilton, & Mills, 2012).

Latz et al. (2012) voerden onderzoek uit aan de bodemweerbaarheid van grond uit het 'Jena Experiment'. Het 'Jena Experiment' is een groot onderzoeksveld (82 veldjes van 20x20 meter) voor grasland, opgezet in 2002 in Duitsland, waarin een gradatie aan soortenrijkheid is aangebracht (1, 2, 4, 8, 16 of 60 soorten per veldje). Deze soorten beslaan grassen, kleine en grote kruidachtigen en vlinderbloemigen, uitgekozen voor hun brede diversiteit aan 'functies' binnen een ecosysteem. Uit deze veldjes werd grond gemonsterd en deze werd gebruikt voor een biotoets met als pathosysteem de verspreiding van Rhizoctonia rot van bieten (*R. solani* AG 2-2IIIB) in een bakje met zaailingen van suikerbiet (Latz et al., 2012).

De weerbaarheid (specifieke aantasting wordt niet genoemd) bleek het hoogst wanneer in het microbioom organismen met zowel genen voor de productie van 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG) als pyrrolnitrin (PRN) aanwezig waren. De concentraties van deze beide stoffen namen toe met de soortenrijkheid (gewasdiversiteit) en PRN ook wanneer het aandeel grassoorten toenam. De concentraties van beide stoffen namen af als het aandeel en de diversiteit van vlinderbloemigen toenam (Latz et al., 2012).

In een zeer uitgebreid review met goede verwijzingen naar experimenteel onderzoek beschrijven Ratnadass et al. (2012) over de vele mogelijkheden maar ook grenzen van het gebruik van gewasdiversificatie voor ziekten en plagen. Opvallend is dat voor nematoden alleen verwezen wordt naar onderzoek met tropische soorten, en dat voor bodemschimmels hoofdzakelijk verwezen wordt naar het effect op de diversificatie van microbiomen, maar er niets vermeld wordt over populatiedynamica. Over het algemeen concluderen de onderzoekers dat voordelen van gewasdiversiteit in de ruimte specifieker zijn dan ze vaak worden aangeduid en daaruit volgend dat er goed nagedacht moet worden hoe en op welk niveau een gewasdiversiteit verhogende maatregel werkt. Generalisatie van de effecten van bepaalde gewascombinaties zijn vaak niet of maar beperkt mogelijk.

Ze benoemen de volgende mechanismen via welke gewasdiversificatie een gunstige invloed kan hebben op de beheersing van ziekten en plagen (Ratnadass, Fernandes, Avelino, & Habib, 2012):

- Verbreken van cycli in de tijd of in de ruimte (ziekten en plagen),
- Allelopathie (plagen),
- Verhogen van bodemweerbaarheid door microbioom (ziekten),
- Verbeterde fysiologische weerstand door verbeterde beschikbaarheid van nutriënten (ziekten en plagen),
- Verdunning van voedselbronnen/waarden (ziekten en plagen),
- Planten met afwerende geur (plagen),
- Niet-hoofdgewassen met een aantrekkelijke geur (plagen),
- Verhoogd aanbod van voedsel voor natuurlijke vijanden (plagen),
- Verhoogd aanbod van schuilplaatsen voor natuurlijke vijanden (plagen),
- Aanpassing van het microklimaat (ziekten en plagen),
- Fysieke obstructie (oftewel ruimtelijke blokkade, sommige ziekten en plagen).

Hoewel de verwoording van de mechanismen in dit review al sterk op plantaardige productiesystemen is toegespitst, sluiten ze alle goed aan bij de principes die ook door (Keesing et al., 2006) genoemd worden.

Een goede tussentijdse evaluatie van de internationale kennis over gewasdiversificatie in de ruimte is geschreven door Boudreau (2013). De onderzoeker in kwestie behandeld alle vormen van gewasdiversiteit (strokenteelt, mengteelt, rassenmengsel) door elkaar, en ordent deze op basis van gewas (bijvoorbeeld graan-vlinderbloemigen teelten of groententeelten). Hij stelt vast dat er hoofdzakelijk informatie beschikbaar is over granen en vlinderbloemigen, en dat in het bijzonder plantenparasitaire aaltjes vooral aandacht vanuit onderzoek hebben gekregen in de teelten van tropische gewassen. Ook wordt in deze evaluatie bekeken in hoeveel gevallen (uit 206 onderzoeken) gewasdiversificatie een positief effect heeft gehad op de ziektedruk. In verreweg de meeste gevallen was de ziektedruk verminderd in enige mate, maar er zijn ook tientallen onderzoeken waarbij er geen effect is of de ziektedruk juist toeneemt. De onderzoeker stelt dat de rol van de verspreiding van ziekten en plagen (en daarmee het verloop van epidemieën) vaak onderbelicht blijft (Boudreau, 2013).

Bebber et al. (2014) snijden op basis van wereldwijde surveygegevens een tot op dat moment weinig genoemd onderwerp aan op het gebied van gewasdiversificatie, namelijk dat meer gewasdiversiteit ook de introductie van nieuwe ziekten en plagen kan betekenen. Volgens hun analyse lijken ziekten en plagen zich vooral te verspreiden rond gelijke breedtegraden (noord-zuid positie t.o.v. de evenaar en de polen) omdat daar vaak gelijksoortige klimaatomstandigheden gelden. Verder is het uiteraard van belang dat er minstens één soort waardplant voorkomt. Europa is voor de verspreiding van ziekten en plagen in deze analyse geclusterd met Centraal Azië, hoewel vooral Mediterrane gebied van Zuid-Europa ook bijna clustert met Afrika, en het Europese Noordwesten ook bijna clustert met de Verenigde Staten (Bebber, Holmes, & Gurr, 2014).

Als de verspreiding van ziekten en plagen volgens de trends van dat moment (2014) doorzet, dan zouden rond 2050 alle ziekten en plagen die op locaties met gegeven klimaatomstandigheden en minimaal één soort waardplant voor kúnnen komen ook daadwerkelijk daar voorkomen. De onderzoekers plaatsen twee belangrijke kanttekeningen bij hun analyse: 1) Tot dusver is de verdeling van ziekten en plagen naar gebieden waar ze technisch gezien voor zouden kúnnen komen nog altijd matig en 2) Voorspelde klimaatveranderingen zouden hier op verschillende manieren verandering in kunnen brengen (Bebber et al., 2014).

Vukicevich et al. (2016) stippen in een review twee interessante functies van gewasdiversificatie aan: de rol van gewasdiversificatie op potentieel tegen ziekten en plagen beschermende arbusculaire mycorrhiza-schimmels (AM) en de benutting van zogenaamde 'functionele plantengroepen' bij de keuze voor gewassen in mengteelten. Zij schrijven dat, hoewel het nut en de beschermende werking van AM veelvuldig is aangetoond, het begrip van hun voorkomen en 'gedrag' in de bodem en rhizosfeer vaak niet verdergaat dan 'één soort op één plant' en daarom nog niet erg bruikbaar is als stuurmiddel (Vukicevich, Lowery, Bowen, Úrbez-Torres, & Hart, 2016).

Verder delen zij gewasgroepen qua functie in op de volgende drie groepen: vlinderbloemigen, C3-grassen, C4-grassen en koolachtigen (Brassica's). Vlinderbloemigen noemen zij vooral gunstig voor stikstof, maar ongunstig voor de onderdrukking van ziekten, mogelijk door de nutriëntenrijke gewasresten die vlinderbloemigen over het algemeen nalaten. C3-grassen vormen een uitgebreid wortelsysteem en hebben daarom mogelijk een betere associatie met ziekte-onderdrukkende bacteriën ontwikkeld, die ze nodig hebben als bescherming. C4-grassen hebben dit niet, maar hebben weer een betere associatie met AM zodat ze ook met een beperkt wortelstelsel in droge omstandigheden kunnen overleven. De koolachtigen ten slotte gaan nauwelijks interacties aan met AM, en door de zwavelhoudende stoffen die vrijkomen uit hun gewasresten kunnen ze de diversiteit van schimmels (pathogeen of niet) verminderen in de bodem. Omdat ze in onderzoek echter vaak in bewerkte vorm (bijvoorbeeld zaadmeel) worden toegepast, pleiten de onderzoekers voor verder onderzoek aan hun effect op het microbioom als groeiend gewas (Vukicevich et al., 2016).

Termorshuizen (2017) beschrijft vanuit de ecologie de vermoedelijke invloed van gewasdiversificatie in de ruimte op bodempathogenen, waarbij gesteld wordt dat voornamelijk het effect van 'Host dilution' (het verminderen van het aantal waardplanten), en 'Pathogen enrichtment' (de mate waarin genetische diversiteit zorgt voor een sterkere virulentie) (Termorshuizen, 2017).

Het relatief recente review van Fones et al. (2020) pakt een hoop zaken specifiek samen voor schimmels en oömyceten die door auteurs van reviews ook zijn beschreven: biologie en ecologie van pathogenen, de invloed van klimaatverandering en de rol van de economie op gewasdiversificatie (of juist het gebrek eraan).

Uit hun overkoepelende analyse van de ontwikkeling van arealen van vele landbouwgewassen wereldwijd concluderen zij dat over het algemeen de diversificatie van gewassen op nationale schaal toeneemt, maar dat het op steeds grotere schalen verbouwen van bepaalde gewassen (zoals granen en soja), onze voedselproductiesystemen steeds meer vatbaar maakt voor bepaalde ziekten. De onderzoekers stellen dat het verhogen van gewasdiversiteit op lokale schaal een goed middel is om deze trend tegen te gaan (Fones et al., 2020).

4.2 Strokenteelt

In een 5-jarige proef in Californië (VS) werd onder andere geëxperimenteerd met zogenaamde 'pest-break strips', stroken alfalfa (Nederlands = luzerne, *Medicago sativa*) die vijf tot zeven bedden breed (10-14 meter) gezaaid werd op een onderlinge afstand van 106 meter, en vervolgens dienst doen als 'banker plants' voor natuurlijke vijanden. De luzerne wordt geteeld totdat de zaadzetting begint en daarna periodiek gemaaid, waarbij de maaisnede op het veld blijft liggen. Bij het maaien worden niet de hele stroken tegelijk gemaaid, maar is er een interval van 10-14 dagen zodat natuurlijke vijanden zich kunnen verplaatsen. Onder de lokale klimatologische omstandigheden bleken de stroken luzerne 4-10 jaar dienst te kunnen doen voordat ze moeten worden vernieuwd. Afhankelijk van hoe lang de strook gestaan heeft moet deze ook worden verplaatst, omdat stoffen die de luzerne uitscheidt de kieming van nieuw zaaizaad sterk kunnen verminderen (Phillips, 1998).

Hoewel er geen concrete getallen worden genoemd stelt de onderzoeker dat op deze manier onder meer bladluizen, aardvlooien, bladspringers, witte vlieg, spintmijten en diverse soorten rupsen goed beheersbaar zijn zodra zich een voldoende groot 'standing army' van natuurlijke vijanden in de luzernestroken heeft gevestigd. Uitzet van lieveheersbeestjes (*Coccinellidae*) en gaasvliegen (*Chrysopidae*) kan dit proces versnellen/verbeteren (Phillips, 1998)

Een Duits strokenteeltexperiment (2001 en 2002) gebruikte stroken van tarwe (*Triticum aestivum*) of gras-klaver (niet nader benoemde soorten). Het doel was de reducerende werking van strokenteelt op Phytophthora (*P. infestans*) te toetsen. De proef was zo opgezet dat er stroken waren van 6 x 36 meter die met de wind mee waren geteeld en stroken van 6 x 18 meter die dwars op de wind lagen. De gebruikte aardappelrassen (in verschillende stroken geteeld) waren cv. 'Secura' en 'Simone', die respectievelijk vatbaar en matig resistent zijn tegen Phytophthora. Tussen elke strook aardappel lag zowel een strook tarwe als een strook gras-klaver. Er waren gemiddeld nauwelijks verschillen tussen de verschillende stroken en de

verschillende windrichtingen, het enige over het algemeen geldende ziekte onderdrukkende effect was het rasseneffect (Bouws & Finckh, 2008). Hoewel de onderzoekers in hun samenvatting enkele significante reducties benoemen kan dit alleen kloppen als ze naar individuele veldjes hebben gekeken. Gezien de epidemiologie van Phytophthora (die van nature haarden vormt waar de sporen het eerst terecht gekomen), is het echter niet correct om op basis van individuele veldjes een reductie vast te stellen (opmerking auteur).

Campanelli et al. (2023) voerden in Italië een strokenteeltexperiment uit van 2018-2020 met twee combinaties van gewassen, namelijk veldboon (*Vicia faba*) met tomaat (*Solanum lycopersicum*) en tarwe met zucchini (*Cucurbita pepo*). Er werd gekeken naar of dit een verminderend effect had op voorkomen en aantasting van Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) en verschillende echte meeldauw soorten (*Oidium* spp.). Na drie jaar konden er geen significante verschillen in voorkomen of aantasting van deze ziekten worden vastgesteld, ongeacht de strokencombinatie (Campanelli et al., 2023).

4.3 Mengteelt

In een Belgisch experiment (Gembloux, België) werd in het teeltseizoen 2019-2020 een proef uitgevoerd met volvelds tarwe, volvelds erwt (*Pisum sativum*) en een mengteelt van tarwe en erwt (volledig vermengd, niet in rijen gesplitst). In de diverse veldjes werden werd gekeken naar de predatie van rupsen en plaaginsecten door geleedpotigen (insecten en spinnen). Er bleken flinke verschillen te bestaan met name tussen het najaar 2019 en het voorjaar 2020. In het najaar 2019 was de predatie van rupsen het hoogst in het tarwe-erwt mengsel, en de predatie van insecten het hoogst in de monoteelt erwt. In het voorjaar 2020 was de predatie van rupsen het hoogst in de monoteelt graan, op korte afstand gevolgd door de monoteelt erwt. De predatie van insecten was ook in het voorjaar 2020 het hoogste in de monoteelt erwt. Het enige significante verschil was tussen predatie in de monoteelt graan en het tarwe-erwt mengsel, waarbij de erwtenplanten dus de grootste invloed bleken te hebben (Puliga, Arlotti, & Dauber, 2023).

In een meerjarig experiment (2015-2019) in het zuiden van Spanje op twee locaties (Córdoba en Almodóvar del Rio) werd door middel van mengteelt geprobeerd de aantasting van veldboon door roest (*Uromyces vicia-fabae*) te verminderen. Als mengteelt met veldboon (cv. 'Baraca') werden erwt (cv. 'Messire'), durum tarwe (*Triticum durum*, cv. 'Califa') of gerst (*Hordeum vulgare* cv. 'Henley') gebruikt. De mengteelt gewassen werden per rij om en om gezaaid (dus 50% veldboon, 50% menggewas), met een correctie voor de hoeveelheid zaaizaad die in een volveldse teelt van granen of vlinderbloemigen zou zijn gebruikt. Gemiddeld over vier jaar was de hoogste aantasting altijd in de monoteelt veldboon, en de laagste altijd in de mengteelt van veldboon met gerst. Er zat tussen deze twee behandelingen een (significant) verschil van 10% aantasting (gemeten als % aantasting blad per plant). De verschillen met alle andere behandelingen waren niet significant. Ongeacht de behandeling (monoteelt of mengteelt) was er geen significant verschil in biomassa of opbrengst van de veldboon (Villegas-Fernández, Amarna, Moral, & Rubiales, 2023).

4.4 Rassenmengsels

In een meerjarig experiment (2015-2019) in het zuiden van Spanje op twee locaties (Córdoba en Almodóvar del Rio) werd door middel van het telen van rassenmengsels geprobeerd de aantasting van veldboon door roest (*U. vicia-fabae*) te verminderen. De gebruikte rassen waren cv. 'Baraca' (vatbaar) en cv. 'Joya' (resistent), en ze werden in diverse verhoudingen gezaaid (van 100% vatbaar ras tot 25% vatbaar ras en 75% resistent ras). De onderzoekers zagen dat de mate van aantasting afnam in dezelfde proportie als het aandeel van het vatbare ras 'Baraca' al geïnfecteerd was (dus hoe meer van de vatbare waard al aangetast was, hoe langzamer de epidemiologie zich voortzette (Villegas-Fernández et al., 2023).

Ook zagen ze dat tussen de diverse mengverhoudingen de mate van aantasting afnam in gelijke proportie als dat het aandeel van het resistente ras toenam. Er werden evenwel geen opbrengstverschillen gevonden tussen de verschillende verhoudingen, vermoedelijk omdat de aantasting van roest in alle jaren vrij laag was (1 tot max. 22% van het bladoppervlak) (Villegas-Fernández et al., 2023). Dit is voor roest erg laag, onder Nederlandse omstandigheden kan roest een vatbaar gewas van veldboon in twee tot vier weken volledig met lesies bezetten (ca. 85% aantasting) (opmerking auteur).

5 Discussie en conclusie

Gewasdiversificatie in de ruimte wordt al ruim 20 jaar door wetenschappelijke bronnen uit binnen- en buitenland genoemd als zijnde belangrijk voor het weerbaarder maken van teeltsystemen met als ultiem doel het (drastisch) verminderen van de afhankelijkheid van synthetisch chemische gewasbeschermingsmiddelen (GBM). Er zijn theoretisch gezien veel voordelen aan een meer diverse teelt, van betere nutriëntenbenutting en een verbeterde bodemstructuur (door bijvoorbeeld aanvullende wortelarchitectuur) tot een verminderde impact van ziekten en plagen.

Dat op het vlak van gewasdiversificatie de theorie en de praktijk nog niet overeenkomen blijkt sterk uit deze inventarisatie van tot dusver bestaande kennis. Hoewel er zeker in de internationale wetenschappelijke literatuur veel reviews over het onderwerp zijn geschreven is de onderbouw van deze reviews met harde data nog beperkt. Veel auteurs van reviews verwijzen ook weer naar andere reviews (of halen veelvuldig dezelfde publicaties aan) voor hun onderbouwing, wat een verdere aanwijzing is dat het aantal goed uitgevoerde proeven op dit onderwerp nog beperkt is.

Een groot gedeelte van de onderzoeken, zowel uit binnen- als buitenland richt zich op hoe gewasdiversificatie in de ruimte de beheersing van plaaginsecten door natuurlijke vijanden kan verbeteren. Hoewel hier enkele waardevolle lessen uit zijn voortgekomen, bijvoorbeeld op het gebied van het zoekgedrag van insecten naar prooien, worden deze lessen schijnbaar nog weinig toegepast. Vrijwel al het onderzoek blijft zich richten op een beperkt aantal combinaties, in het bijzonder granen met vlinderbloemigen. Dit is weliswaar een agronomisch verantwoorde keuze (vanwege nutriënten en teeltgemak), maar lang niet altijd optimaal voor de natuurlijke vijanden.

Een ander groot deel van het onderzoek gaat over diversificatie in de ruimte van graanteelten, voornamelijk om de beheersing van roestziekten te verbeteren. Interessant op dit vlak is dat er inmiddels ook in ieder geval enkele publicaties zijn over de beheersing van Phytophthora in aardappel door middel van ruimtelijke gewasdiversificatie, die je qua epidemiologie wel als de roest van aardappel zou kunnen beschouwen. Er lijkt van strokenteelt en mengteelt ook wel enig effect te zijn, dat in sommige publicaties ook over verschillende teeltseizoenen heen significant blijft, hoewel veel epidemiologische parameters er wel een hele grote rol in spelen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de ziektedruk vanuit de omgeving, het moment van de start van een epidemie in het teeltseizoen, en natuurlijk het verloop van de betreffende epidemie. Al deze zaken worden hoofdzakelijk beïnvloedt door het weer, wat volledig buiten de invloedssfeer van de teler is.

Wat voor beide soorten onderzoek geldt, is dat nog lang niet altijd gekeken wordt naar of verschillen die weliswaar significant zijn ook in agronomische zin relevant zijn. Dus wanneer er x percentage minder vraatschade door herbivoren wordt aangetoond, weegt dat qua opbrengst of vermarktbaar aandeel ook op tegen bijvoorbeeld de meerprijs van arbeid die in veel teeltsystemen met meer ruimtelijke gewasdiversificatie gaat zitten. Verder wordt het overgrote merendeel van het onderzoek uitgevoerd in biologische teeltsystemen, wat een begrijpelijke keuze is, maar vaak ook resultaten oplevert die voor gangbare telers niet relevant is. Zolang het effect van ruimtelijke gewasdiversificatie voldoende malen kleiner is als het effect van GBM (of dat dit nu een synthetisch chemisch middel of biocontrol betreft) zal namelijk eerst naar de maatregel worden gekeken die het makkelijkst in te passen is en die het minste risico/vraag om investering met zich meebrengen.

Om sluitende uitspraken te kunnen doen over de zin en onzin van ruimtelijke gewasdiversificatie ontbreekt het op veel vlakken zowel nog aan data in de breedte (alle bijkomende factoren van gewasdiversiteit in de ruimte) als in de diepte (welke combinaties van gewassen werken voor plaag/pathogeen x?). Het laatste geldt ook zeker voor bodemgebonden ziekten, plagen, en onkruiden, die vooral in tropische teeltsystemen te lijken zijn onderzocht, maar waarvoor data uit het gematigde klimaat, en ook uit Nederland, noch slechts sporadisch voorhanden zijn.

Literatuur

Abreu, L., de Boer, W., & Raaijmakers, J. (2023). Samenstelling, Functioneren en Toepassing van Plantmicrobiomen in de Landbouw: Een deskstudie naar de huidige wetenschappelijke inzichten over samenstelling en functioneren van microbiomen bij de teelt van gewassen en de mogelijkheden voor toepassingen om weerbaarheid van gewassen te verhogen.

Allema, B., van Rozen, K., Helsen, H., Huiting, H., Verbeek, M., & van Tol, R. (2020). *Natuurvriendelijke bestrijding van bladluizen: voorkómen van hoge populatiedichtheden en curatief bestrijden*. Retrieved from

Bebber, D. P., Holmes, T., & Gurr, S. J. (2014). The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography, 23*(12), 1398-1407.

Bennett, A. J., Bending, G. D., Chandler, D., Hilton, S., & Mills, P. (2012). Meeting the demand for crop production: the challenge of yield decline in crops grown in short rotations. *Biological reviews, 87*(1), 52-71.

Blom, M., Brandemann, J., Huiting, H., & van der Maarl, C. (2019). Plaagbeheersing in de biologische spruitkoolteelt. *Biokennis bericht, 39*, -.

Booij, C., den Belder, E., & de Visser, A. (2002). De betekenis van diversificatie en ecologische infrastructuur voor de gewasbescherming in de biologische landbouw. In *Biologisch bedrijf onder de loep:'biologische akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt in perspectief'* (pp. 113-121): Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Bosch, H. (1989). *Themadag Vruchtwisseling grenzen aan nauwe rotaties*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Boudreau, M. A. (2013). Diseases in intercropping systems. *Annual review of Phytopathology, 51*(1), 499-519.

Bouws, H., & Finckh, M. (2008). Effects of strip intercropping of potatoes with non-hosts on late blight severity and tuber yield in organic production. *Plant Pathology, 57*(5), 916-927.

Bukovinszky, T. (2008). Plaagonderdrukking in mengteelten. *Landschap: tijdschrift voor landschapsecologie en milieukunde, 25*(3), 150-151.

Bukovinszky, T., Gols, R., Hemerik, L., Van Lenteren, J. C., & Vet, L. E. (2007). Time allocation of a parasitoid foraging in heterogeneous vegetation: implications for host–parasitoid interactions. *Journal of Animal Ecology, 76*(5), 845-853.

Bukovinszky, T., Gols, R., Posthumus, M., Vet, L., & Van Lenteren, J. (2005). Variation in plant volatiles and attraction of the parasitoid Diadegma semiclausum (Hellen). *Journal of chemical ecology, 31*, 461-480.

Campanelli, G., Iocola, I., Leteo, F., Montemurro, F., Platani, C., Testani, E., & Canali, S. (2023). Strip cropping in organically managed vegetable systems: agronomic and environmental effects. *Renewable Agriculture and Food Systems, 38*, e31.

Colon, L. T. (2006). *Aaltjesresistentie in klaver: perspectieven voor aaltjesresistente klaver als stikstofleverancier in biologische teelten* (1566-7790). Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Cuperus, F., Allema, B., Bianchi, F. J., Rossing, W. A., & van Apeldoorn, D. F. (2024). Cauliflower strip cropping promotes ground-dwelling arthropod richness and spider abundance. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 374*, 109137.

Dawson, A., Norén, I. S., Sukkel, W., Cuperus, F., Schoutsen, M., Vijn, M., & Visser, A. (2019). *Inspiratie voor een biodiverse akkerbouw: Bouwstenen voor integratie van biodiversiteit in de bedrijfsvoering*. Retrieved from

de Boer, M., & Lamers, J. (2005). *Deskstudie bodemmanagement: de smaak van morgen*. Retrieved from

de Werd, H., Hiddink, G., & van Bruggen, A. (2005). *Tabaksratelvirus in Gladiool*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Ditzler, L., Van Apeldoorn, D. F., Schulte, R. P., Tittonell, P., & Rossing, W. A. (2021). Redefining the field to mobilize three-dimensional diversity and ecosystem services on the arable farm. *European Journal of Agronomy, 122*, 126197.

Faber, J., op Akkerhuis, G. J., Bloem, J., Lahr, J., Diemont, W., & Braat, L. (2009). *Ecosysteemdiensten en bodembeheer: maatregelen ter verbetering van biologische bodemkwaliteit* (1566-7197). Retrieved from

Fones, H. N., Bebber, D. P., Chaloner, T. M., Kay, W. T., Steinberg, G., & Gurr, S. J. (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nature Food, 1*(6), 332-342.

Gregory, P. J., Johnson, S. N., Newton, A. C., & Ingram, S. I. (2009). Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany, 60*(10), 2827-2838.

Hajjar, R., Jarvis, D. I., & Gemmill-Herren, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 123*(4), 261-270.

Hiddink, G. (2008). *Suppression of soilborne pathogens in mixed cropping systems*: Wageningen University and Research.

Hiddink, G. (2009). Onderdrukking van bodemgebonden pathogenen in mengteeltsystemen. *Gewasbescherming, 40*(1), 12.

Hiddink, G., Termorshuizen, A., Raaijmakers, J., & van Bruggen, A. (2005). Beinvloedt mengteelt de ziektewerendheid van bodems tegen bodempathogenen? *Gewasbescherming, 36*(5), 200-205.

Hiddink, G. A., Termorshuizen, A. J., & van Bruggen, A. H. (2010). Mixed cropping and suppression of soilborne diseases. *Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming*, 119-146.

Hoekstra, O., Lamers, J. G., & Zwanepol, S. (1993). *28 jaar Vruchtwisselingsonderzoek op De Schreef*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Hofmeester, Y., Bos, A., & Wijnands, F. (1995). *Bedrijfssystemen-onderzoek Borgerswold 1986-1990= Farming systems research Borgerswold 1986-1990*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Homulle, Z., Anten, N. P., Kessel, G. J., Stomph, T. J., van der Werf, W., & Douma, J. C. (2024). The potential of strip cropping to suppress potato late blight. *Field Crops Research, 318*, 109595.

Hoogerkamp, M., & Rabbinge, R. (1990). *Gewasoecologie in relatie tot Gewasbescherming*: CABO.

Juventia, S. D., Rossing, W. A., Ditzler, L., & van Apeldoorn, D. F. (2021). Spatial and genetic crop diversity support ecosystem service delivery: a case of yield and biocontrol in Dutch organic cabbage production. *Field Crops Research, 261*, 108015.

Keesing, F., Holt, R. D., & Ostfeld, R. S. (2006). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology letters, 9*(4), 485-498.

Kodde, E., Van Den Oever, J., Schenk, E., & Trouwborst, G. (2003). *Spruitje, boompje, beestje. Ontwerp en analyse van een intersectoraal systeem van biologische vollegrondsgroenteteelt en boomteelt*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

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*(2), 198-209.

Latz, E., Eisenhauer, N., Rall, B. C., Allan, E., Roscher, C., Scheu, S., & Jousset, A. (2012). Plant diversity improves protection against soil-borne pathogens by fostering antagonistic bacterial communities. *Journal of Ecology, 100*(3), 597-604.

Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *BioScience, 61*(3), 183-193.

Newton, A., Begg, G., & Swanston, J. (2009). Deployment of diversity for enhanced crop function. *Annals of Applied Biology, 154*(3), 309-322.

Phillips, J. (1998). Pest Break Strips for Biological Control of Insect Pests in Nature Farming: A New Perspective for Integrated Pest Management. *Parasitic wasps, 287*(71,750), 400.

Puliga, G. A., Arlotti, D., & Dauber, J. (2023). The effects of wheat-pea mixed intercropping on biocontrol potential of generalist predators in a long-term experimental trial. *Annals of Applied Biology, 182*(1), 37-47.

Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., & Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for sustainable development, 32*, 273-303.

Riemens, M., Beerling, E., Bonants, P., Bremmer, J., Kempenaar, C., Lotz, B., . . . Tielen, J. (2023). *Staat van Plantgezondheid 2023: In de Nederlandse Land-en tuinbouw*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Riemens, M., de Kogel, W. J., de Haan, J., Lotz, B., Sukkel, W., van Doorn, A., & Scholten, O. (2019). *Gezonde, robuuste bodem en teeltsystemen gebaseerd op agro-ecologie en zonder schadelijke emissies naar grond- en oppervlaktewater*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Skelsey, P., Rossing, W., Kessel, G., Powell, J., & Van der Werf, W. (2005). Influence of host diversity on development of epidemics: an evaluation and elaboration of mixture theory. *Phytopathology, 95*(4), 328-338.

Termorshuizen, A. J. (2017). Ecology of fungal plant pathogens. *The fungal kingdom*, 387-397.

Timmer, R., Groten, J., & Raaphorst, M. (2012). *Ontwikkeling en introductie van duurzame landschapsmaïstypen en-teeltsystemen: eindrapportage onderzoek 2007-2011*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

van Beers, T., Korthals, G., & Hartsema, O. (2003). *Waardplantgeschiktheid van vlinderbloemige groenbemesters voor aaltjes*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

van Doorn, A., Waenink, R., Heupink, D., Luske, B., de Wit, D., Bruijnes, J., . . . Weebers, C. (2023). *De BiodiversiteitsMonitor Akkerbouw in de praktijk: Resultaten van de praktijktoets* (1566-7197). Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

van Elsas, J. D., Garbeva, P., & Salles, J. (2002). Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil-borne plant pathogens. *Biodegradation, 13*(1), 29-40.

van Os, J., de Vries, M., Fuchs, L., & Sluijsmans, J. (2023). *Landbouwmilieumaatregelen voor akkerbouw en melkveebedrijven* (1566-7197). Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Van Rossum, Z., Wäckers, F., Janssen, A., & van Rijn, P. (2022). Bevordering van nuttige organismen voor plaagbestrijding en bestuiving in open teelten. *IBED Amsterdam, in opdracht van LNV*.

van Wijk, C., Sukkel, W., & Gruppen, R. (2015). *Aardappel in een Biodivers teeltsysteem: resultaten 2010-2014*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

van Wijk, C., Sukkel, W., & Gruppen, R. (2016). *Zomertarwe in een Biodivers systeem: resultaten 2010-2015: Tussenrapportage ziekte-en opbrengstverloop in een Biodivers teeltsysteem versus een standaard Biologische teelt*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

van Zuilichem, J. (2006). *Diversiteit voor stabiliteit: handreiking voor inpassing van diversiteit binnen productieperceel ter onderdrukking van ziekten en plagen in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Vereijken, P., & Wijnands, F. (1990). *Geïntegreerde akkerbouw naar de praktijk: strategie voor bedrijf en milieu*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Villegas-Fernández, Á. M., Amarna, A. A., Moral, J., & Rubiales, D. (2023). Crop diversification to control rust in faba bean caused by Uromyces viciae-fabae. *Journal of Fungi, 9*(3), 344.

Visser, J., Teklu, M., Brinkman, P., & Molendijk, L. (2022). *Waardplantgeschiktheid van akkerbouwgewassen en groenbemesters voor het maiswortelknobbelaaltje Meloidogyne chitwoodi: resultaten van kas-en veldonderzoek*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J. R., & Hart, M. (2016). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development, 36*, 1-14.

Wijnholds, K. H., & van den Berg, W. (1995). *Vruchtwisselingsproef AGM 600 proefboerderij AG Mulderhoeve Emmercompascuum 1981-1989: effect van gewasrotaties, organische stof en stikstof op de produktie van aardappelen, suikerbieten, zomertarwe en haver op een veenkoloniale grond*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Zwart-Roodzant, M., Bosch, H., Kreuk, F., & Stokkers, R. (1998). *Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten-bloembollen, proeftuin Zwaagdijk: evaluatie 1991-1996*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

Zwart-Roodzant, M., Rovers, J., Stokkers, R., & Zwanepol, S. (1998). *Bedrijfssystemen-onderzoek vollegrondsgroenten, proeftuin Noord-Brabant: evaluatie 1991-1995*. Retrieved from Wageningen UR | Open Teelten

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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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

Wageningen University & Research
Open Teelten
Edelhertweg 1
Postbus 430
8200 AK Lelystad
T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten
info.openteelten@wur.nl
Rapport WPR-OT 1136

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, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers 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.