

8-11-2021

Gewasmengsels

Voor een toekomstbestendige landbouw



Jesse van Tiggelen

Gewasmengsels voor een toekomstbestendige landbouw

Jesse van Tiggelen
Tuin-akkerbouw Agrarisch ondernemerschap
Aeres hogeschool Dronten

08-11-2021, Espel

Afstudeerdocent: Paul Ringelberg

DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie: 'gewasmengsels voor een toekomstbestendige landbouw'. De scriptie is de uitwerking van mijn onderzoek naar de potentie van mengteelten in de akkerbouw. Het onderzoek gaat over de vraag of mengteelten bij kunnen dragen aan een gezonde bodem, met als gevolg gezonde planten en het toekomstbestendiger worden van de landbouw. En hoe deze mengteelten in de praktijk zijn toe te passen. De scriptie is onderdeel van mijn afstudeerfase van de opleiding Tuin- en Akkerbouw Agrarisch ondernemerschap aan de Aeres hogeschool in Dronten.

Bij deze wil ik mijn afstudeerdocent Paul Ringelberg bedanken voor de begeleiding. Daarnaast wil ik alle andere betrokkenen bedanken die hebben bijgedragen aan het onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
Summary	6
1 Inleiding.....	7
1.1 Aanleiding.....	7
1.2 Ontwikkeling en relevantie.....	7
1.3 Een gezonde bodem	8
1.4 De rol van de plant	9
1.5 Mengteelten	10
2 Methode.....	11
2.1 Zoekplan	11
2.2 Verwerken van de gegevens.....	11
2.3 Kennis uit de praktijk	11
2.4 Aanpak per deelvraag	12
3 Resultaten	13
3.1 Het effect van mengteelten op de bodemgezondheid	13
3.1.1 Bodemfysiologie.....	13
3.1.2 Bodemchemie	14
3.1.3 Bodembioologie	16
3.2 Aandachtspunten bij het toepassen van mengteelten in de praktijk	19
3.2.1 Zaaïen	19
3.2.2 Bemesten	19
3.2.3 Gewasbescherming	20
3.2.4 Oogst	20
3.2.5 Afzet	20
3.3 Mogelijk succesvolle gewascombinaties	21
3.3.1 Vlinderbloemigen	21
3.3.2 Granen.....	22
3.3.3 Combinaties.....	23
4 Discussie	24
5 Conclusie en aanbeveling	25
5.1 Het effect van mengteelten op de bodemgezondheid	25
5.2 Aandachtspunten bij het toepassen van mengteelten in de praktijk	26
5.3 Mogelijk succesvolle gewascombinaties	27
5.4 Conclusie	28
Bibliografie	29

Samenvatting

De huidige manier van landbouw heeft ervoor gezorgd dat er geen honger meer is in Nederland, echter het milieu wordt wel door deze intensieve vorm van landbouw belast. De sector heeft te maken met verschillende uitdagingen die een bedreiging vormen voor een duurzame landbouw en voor het voeden van de groeiende wereldbevolking. Een gezonde bodem, fysisch, chemisch en biologisch, kan de effecten van een aantal van deze bedreigingen verminderen, door de benodigde input te verlagen en veerkrachtiger te zijn. Planten kunnen bijdragen aan een gezonde bodem rondom de wortels door middel van de wortellexudaten die ze uitstoten. Hiermee beïnvloeden ze de bodembioïecologie, die helpt bij het vrijmaken van nutriënten en weren van ziektes en plagen. Op deze manier draagt de plant indirect zelf bij aan een gezonde bodem wat op zijn beurt weer kan zorgen voor een gezonde plant. Door middel van literatuuronderzoek is onderzocht of dit effect toeneemt bij plantenmengsels en of dit in de praktijk is toe te passen. Dit is gedaan aan de hand van de hoofdvraag: **In hoeverre kunnen mengteelten van vlinderbloemigen en granen in de praktijk worden toegepast en hiermee de bodemgezondheid ten opzichte van een monocultuur bevorderen?**

Voor het literatuuronderzoek wordt gebruik gemaakt van de beschikbare literatuur, de conclusies en aanbevelingen van gerelateerde onderzoeken. Dit wordt gecombineerd met ervaring uit de praktijk door het voeren van gesprekken met mensen die ervaring met mengteelten hebben.

Uit de resultaten blijkt dat mengteelten bijdragen aan het verbeteren van diverse aspecten van de bodemfysiologie, -chemie en -biologie en op deze manier aan een verbeterde bodemgezondheid. Op zijn beurt kan dit bijdragen aan het gezonde planten waardoor er minder input nodig is voor de teelt van een gewas. Om een mengteelt in de praktijk toe te kunnen passen moet met een aantal zaken op teelttechnisch gebied rekening worden gehouden. Het is van belang dat de gewassen die in mengteelt worden verbouwd met dezelfde mechanisatie geoogst kunnen worden. Van de combinaties van vlinderbloemigen en granen waarbij dit mogelijk is hebben een mengteelt van tarwe-veldboon, gerst-erwt en tarwe/gerst-klaver de meeste potentie voor een toepassing in de praktijk, op basis van bekende informatie en ervaringen. Aanvullend onderzoek naar het effect van specifieke mengteelten op bodemgezondheid in de praktijk en het financiële resultaat hiervan is nodig om te kunnen bepalen welk mengsel het beste in de praktijk toegepast kan worden.

Summary

The current way of farming has ensured that there is no longer hunger in the Netherlands, but the environment is burdened by this intensive form of agriculture. The sector faces several challenges that threaten sustainable agriculture and feeding of the growing world population. A healthy soil, physically, chemically, and biologically, can mitigate the effects of some of these threats, by lowering input requirements and being more resilient. Plants can contribute to a healthy soil around the roots by means of the root exudates they emit. In this way they influence the soil biology, which helps to release nutrients and prevent pests and diseases. In this way, the plant indirectly contributes to a healthy soil, which in turn can ensure a healthy plant. A literature study has been carried out to determine whether this effect increases in plant mixtures and whether this can be applied in practice. This study was based on the main question: To what extent can mixed crops of legumes and cereals be applied in practice and thus promote soil health compared to a monoculture?

The literature review uses the available literature, the conclusions and recommendations of related studies. This is combined with practical experience by talking to people who have experience with mixed crops.

The results show that mixed crops contribute to improving various aspects of soil physiology, chemistry, and biology and in this way to improved soil health. In turn, this can contribute to healthy plants, so that less input is needed for the cultivation of a crop. To be able to apply mixed cultivation in practice, several cultivation aspects must be taken into account. It is important that the crops that are grown in mixed cultivation can be harvested with the same mechanization. Of the combinations of legumes and cereals whereby this is a possibility, mixed crops of wheat-field bean, barley-pea and wheat/barley-clover has the most potential for practical application, based on known information and experience. Additional research into the effect of specific mixed crops on soil health in practice and the financial result of this is needed to determine which mixture can as best be applied in practice.

1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de aanleiding tot dit onderzoek, het onderwerp, de relevantie, hoofd- en deelvragen en de doelstelling van het onderzoek.

1.1 Aanleiding

Na de tweede wereldoorlog was het doel voor de Nederlandse landbouw duidelijk: er werd ingezet op het verhogen van de voedselproductie, een hongersnood zoals in de oorlog mocht er nooit meer zijn (LEI, 2006). Als gevolg van mechanisatie, de beschikbaarheid van kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen steeg de voedselproductie. Doordat er steeds meer voedsel geproduceerd kon worden oversteeg het aanbod de vraag, ontstonden er voedseloverschotten en daalden de prijzen (PBL, 2010). De schaalvergroting en specialisatie, die benodigd was voor het inzetten van mechanisatie, zette door zodat met deze lagere prijzen de boeren toch een redelijk inkomen konden genereren.

Met behulp van onderzoek, toenemende kennis, veredeling en innovaties stegen de opbrengsten per hectare of per dier. Hierdoor is de Nederlandse landbouw efficiënt en productief geworden, en hebben Nederlandse producten de laagste milieu-impact wereldwijd zowel per kilo product als per voedingswaarde (ABN AMRO, 2017). Dit heeft ertoe geleid dat er vandaag de dag altijd en voor iedereen in Nederland goedkoop voedsel beschikbaar is. Echter zit er een schaduwzijde aan dit succesverhaal. Het milieu wordt belast door de intensieve landbouw met gevolgen voor de waterkwaliteit, biodiversiteit en bodemkwaliteit (CBS, 2020).

1.2 Ontwikkeling en relevantie

De Nederlandse landbouw heeft zijn doel, nooit meer honger, behaald. Nu staat het voor een nieuwe uitdaging namelijk toekomstbestendig worden. Dit is een voorwaarde om in de toekomst nog landbouw te kunnen bedrijven en is om deze rede van belang voor de gehele agrarische sector en de voedselvoorziening. Door wetgeving van de afgelopen tientallen jaren zijn problemen als uitspoeling van nutriënten en milieuvervuiling door gewasbeschermingsmiddelen al teruggedrongen. De nitraatconcentratie is sterk gedaald sinds de jaren negentig maar voldoet op veel plaatsen nog niet aan de waterkwaliteitsnormen die de waterschappen hebben gesteld (Velthof, et al., 2017). De berekende milieubelasting door gewasbeschermingsmiddelen in het oppervlaktewater was in 2010 met ongeveer 85% gedaald sinds 1998 (PBL, 2014). Ook de visie van minister Schouten zet een stip aan de horizon voor het toekomstbestendiger maken van de landbouw. Er moet op dit gebied echter nog veel gebeuren.

De sector heeft te maken met de volgende uitdagingen die een bedreiging vormen voor een duurzame landbouw en voor het voeden van de groeiende wereldbevolking (Verstegen, 2018):

- Weersextremen als gevolg van klimaatverandering (Goosen, Blom-Zandstra, & Hasse, 2010)
- Eindige input van kunstmest
- Uitstoot broeikasgassen (Bos, de Haan, & Sukkel, 2007)
- Uit- en afspoeling van nutriënten naar het milieu (Michels, 2020)
- Afnemen van beschikbare gewasbeschermingsmiddelen
- Het verdienmodel staat onder druk
- De biodiversiteit en bodemkwaliteit staan onder druk (Erisman, Koopmans, Luske, & Zanen, 2017) (Koopmans, Erisman, Zanen, van Eekeren, & Wagenaar, 2020)
- Uitvoer van nutriënten uit de keten via consumenten

1.3 Een gezonde bodem

Een gezonde bodem kan de effecten van een aantal van deze bedreigingen verminderen, door de benodigde input te verlagen en veerkrachtiger te zijn. Op deze manier kan een gezonde bodem bijdragen aan het toekomstbestendig maken van de landbouw. Maar wat is een gezonde bodem precies?

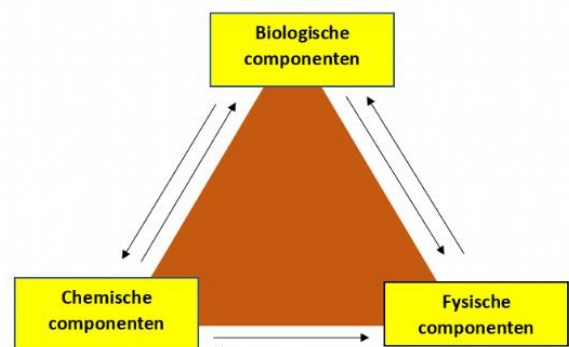
Het begrip bodemgezondheid wordt op verschillende manieren gedefinieerd. Groen kennisnet (Groen Kennisnet, 2019) definieert bodemgezondheid als volgt: "Bodemgezondheid is een veelomvattend begrip. Het gaat daarbij om de samenhang tussen bodem chemische aspecten, de structuur van de bodem en het bodemleven".

De definitie van handboek bodem en bemesting (Handboek bodem en Bemesting, sd) wijkt iets af van de definitie van groen kennisnet: "Van bodemgezondheid bestaan brede en smallere definities. In alle definities gaat het om een goed biologisch functionerend bodemleven die leidt tot zowel een algemene en specifieke ziektevering die leidt tot een goede productie. Bredere definities nemen hier ook fysische en chemische aspecten van de bodem in mee en besteden ook aandacht aan andere doelen dan productie zoals emissies en biodiversiteit. In dit kader wordt met bodemgezondheid met name de biologische aspecten en de ziekteverendheid van de bodem bedoeld".

Het Louis Bolk Instituut definieert bodemgezondheid als: "Bodemgezondheid is een specifiek begrip dat bodemkwaliteit. Terwijl bodemkwaliteit is op te splitsen in biologische, chemische en fysische componenten, wordt bodemgezondheid primair bepaald door biologische componenten" (Bos, Korthals, Molendijk, & Zanen, 2009).

Er zijn verschillende definities van het begrip bodemgezondheid, in dit onderzoek wordt de definitie van Groen Kennisnet aangehouden en wordt er gekeken naar het fysische, chemische en biologische aspect van de bodem.

Bodemgezondheid is dus een samenspel van de bodem fysiologie, chemie en biologie. Deze onderdelen van de bodem zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden en beïnvloeden elkaar zoals in figuur 1.1 is te zien. Zo zijn een goede bodemchemie en fysiologie een voorwaarde voor een goed ontwikkeld bodemleven, op zijn beurt beïnvloed het bodemleven de bodem-chemische en -fysische toestand.



Figuur 1.1 interactie tussen bodemcomponenten (Baar, 2020)

Om meer inzicht te krijgen in deze onderdelen van bodemgezondheid wordt hieronder kort toegelicht wat deze onderdelen doen en hoe ze kunnen worden beïnvloed:

- **Bodemfysiologie:** Een bodem met goede fysische eigenschappen is zo opgebouwd dat er zowel kleine als grote poriën aanwezig zijn voor de aan en afvoer van lucht, water en ruimte voor de plantenwortels om in te groeien. Eigenschappen als slemp, verstuviging en bewerkbaarheid horen bij de bodemfysiologie (Handboek bodem en bemesting, sd).

De bodemfysiologie is te beïnvloeden door gewaskeuze/bouwplan, groenbemesters, bodembewerking, berijden van de bodem, bodemchemie en bodembioologie.

- **Bodemchemie:** De bodemchemie is de chemische staat van de bodem, de zuurgraad, CEC (Cation Exchange Capacity), nutriënten voorraad en nutriëntbeschikbaarheid zijn hier onderdeel van. De beschikbaarheid van nutriënten en de zuurgraad in de bodem heeft een grote invloed op de groei van planten en het bodemleven (Louis Bolk Instituut, sd).

De bodemchemie is te beïnvloeden door de soort bemesting, bekalking, de bodembio­logie en groenbemesters.

- **Bodembio­logie:** De bodembio­logie bestaat uit alle organismen die in de bodem voorkomen zoals bacteriën, schimmels, nematoden en protozoa. Sommige organismen jagen op elkaar, parasiteren op andere organismen of ze scheiden (giftige) stoffen uit om vijanden of concurrenten op afstand te houden. In een gezonde stabiele bodem worden verschillende populaties van bodemorganismen door elkaar in balans gehouden en wordt voorkomen dat een bepaalde soort de overhand krijgt (Hoogmoed, 2020). Het bodemleven voedt zich met organische stof of ander bodemleven en zorgt op deze manier voor mineralisatie, door het graven in de bodem en uitscheiden van stoffen zorgt het voor structuuropbouw (Kennisplatform Bodem & Natuur, sd).

De bodembio­logie is te beïnvloeden door het bouwplan, bemesting, groenbemesters, grondbewerking, berijden van de bodem, bodemstructuur en -chemie.

De bodembio­logie is dus van groot belang voor een gezonde bodem, het is mogelijk om deze rede dat planten het bodemleven voeden. Volgens professor Corné Pieterse scheiden planten tot wel 20 procent van de suikers die ze door middel van fotosynthese produceren uit via de wortels (Töntjes, 2017), volgens Agrifirm is dit bij groeiende planten tot wel 30% van de geproduceerde suikers (Agrifirm, 2020).

1.4 De rol van de plant

De stoffen die planten uitstoten via de wortels worden wortel­exudaten genoemd, dit zijn niet alleen suikers maar ook organische zuren, aminozuren en antibiotica. Met deze stoffen lokken ze bepaalde micro-organismen en sturen ze andere weg. Op deze manier creëren planten hun eigen rhizosfeer. De rhizosfeer is het laagje direct rondom de plantenwortels. Hier bevinden zich micro-organismen zoals schimmels en bacteriën die samenleven met de plant. De plant levert wortel­exudaten, energie voor het bodemleven, aan de micro-organismen. In ruil hiervoor zorgen deze ervoor dat de planten essentiële nutriënten op kunnen nemen (WUR, 2016).

Daarnaast kunnen micro-organismen de plant beschermen tegen plantpathogenen doordat deze met elkaar concurreren om ruimte en voedsel. Dit wordt algemene ziekte- en plaagwering genoemd. Het is ook mogelijk dat er een specifiek micro-organisme aanwezig is dat een of een beperkt aantal specifieke ziektes of plagen bestrijdt, dit wordt specifieke ziekte­wering door micro-organismen genoemd (Bos, Korthals, Molendijk, & Zanen, 2009).

Planten zorgen dus door middel van de wortel­exudaten die ze uitstoten voor de micro-organismen in de rhizosfeer, die de plant helpt met de nutriënten voorziening en wering tegen ziektes en plagen. Op deze manier draagt de plant indirect zelf bij aan een gezonde bodem wat op zijn beurt weer kan zorgen voor een gezonde plant.

1.5 Mengteelten

Als planten zelf bij kunnen dragen aan de bodemgezondheid, neemt dit effect dan verder toe wanneer er meerdere plantensoorten bij elkaar groeien zoals in de natuur? Wanneer dit het geval is kan dit effect worden ingezet om de bodemgezondheid te verbeteren en zo de uitdagingen van de toekomst te verkleinen. Dit zou een omslag betekenen voor de huidige landbouw die grotendeels uit monoculturen bestaat. Maar is dit in de praktijk ook werkelijk mogelijk?

Van mengteelten waarbij er meerdere gewassen gelijktijdig op één perceel groeien, is er bekend dat dit bovengronds diverse voordelen heeft zoals een hogere opbrengst (Li, et al., 2020) en het verminderen van bovengrondse ziektes en plagen (van Zuilichem, 2006). Omdat het toepassen van mengteelten bij maaigewassen op het gebied van mechanisatie gemakkelijker is dan bij rooivruchten (Norén & Dawson, 2019), er meer informatie is over en ervaring is met maaigewassen zal dit op korte termijn gemakkelijker te zijn implementeren in de bedrijfsvoering. Er wordt vooral geëxperimenteerd met de combinatie van granen en vlinderbloemigen (Groen kennisnet, sd). Hieruit blijkt dat de granen meer eiwit bevatten en als gevolg hiervan een hogere bakkwaliteit hebben (Tönjes, 2021).

Omdat er met de combinatie van granen en vlinderbloemigen de meeste ervaring is opgedaan zal er in dit literatuuronderzoek enkel naar deze gewassen worden gekeken. Er wordt onderzocht of mengteelten van granen en vlinderbloemigen bij kunnen dragen aan een gezonde bodem en hoe dit in de praktijk kan worden toegepast. Dit wordt gedaan aan de hand van de volgende hoofdvraag:

In hoeverre kunnen mengteelten van vlinderbloemigen en granen in de praktijk worden toegepast en hiermee de bodemgezondheid ten opzichte van een monocultuur bevorderen?

Hierbij wordt vooral gekeken naar de toepassing van mengteelten in een akkerbouw rotatie waarbij de oogst van de zaden van belang is en niet naar voederwinning waar aan gehele plantsillage wordt gedaan. De toepassing van strokenteelt wordt soms ook onder de noemer mengteelten geschaard, in dit onderzoek wordt het als mengteelt beschouwd wanneer verschillende rassen of gewassen elkaar om de rij afwisselen of willekeuring gemengd zijn.

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden is de vraag opgedeeld in de volgende deelvragen:

- Wat is het effect van mengteelten op het bodemfysische, -chemische en biologische aspect van de bodemgezondheid?
- Waar moet op teelttechnisch gebied rekening mee worden gehouden om een mengteelt succesvol toe te passen?
- Welke combinaties van granen en vlinderbloemigen zijn mogelijk succesvol?

Wanneer deze vragen zijn beantwoord kan er antwoord worden gegeven op de hoofdvraag. Hiermee kunnen agrarische ondernemers en adviseurs hun voordeel doen door deze resultaten mee te nemen in de bedrijfsvoering of bij het adviseren. En mogelijk kan dit bijdragen aan het toekomstbestendiger maken van de Nederlandse landbouw.

2 Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het onderzoek wordt uitgevoerd. Het betreft een literatuuronderzoek en dus zal hier het zoekplan voor dit onderzoek worden beschreven.

2.1 Zoekplan

In het vooronderzoek is kwalitatief onderzoek verricht om informatie te verkrijgen waarmee de deelvragen kunnen worden beantwoord. Bij het onderzoek wordt gebruik gemaakt van de beschikbare literatuur, de conclusies en aanbevelingen van gerelateerde onderzoeken. Deze informatie zal worden gebruikt om deelvragen te beantwoorden waarmee vervolgens de hoofdvraag kan worden beantwoord.

Voor het zoeken van informatie is een lijst opgesteld met zoekwoorden gerelateerd aan het onderwerp en de hoofdvraag. De onderstaande zoekwoorden worden gebruikt voor het vinden van informatie:

- Bodemgezondheid
- Toekomstbestendige landbouw
- Mengteelten/Intercropping
- Plant diversiteit/Plant diversity
- Biodiversiteit
- Gewasmengsels
- Wortellexudaten
- Microbioom
- Bodemleven
- Granen/Cereals
- Vlinderbloemigen/Legumes

De bronnen die dit opleverde zijn bekeken en er is bepaald of deze relevant zijn voor het onderzoek. Hierbij is gekeken naar:

- De achtergrond van de auteur
- De instelling waar de auteur aan is verbonden
- Is de bron peer-revieuwed
- Of de bron vaker is geciteerd
- Het jaar van publicatie

2.2 Verwerken van de gegevens

De verzamelde bronnen zijn in een overzicht in Excel neergezet. Hier worden de titel en de omschrijving van de bron bijgezet, voor welk onderdeel van het onderzoek de bron interessant is en waar in de bron dit te vinden is. Op deze manier is informatie snel terug te vinden.

2.3 Kennis uit de praktijk

Aanvullend op het literatuuronderzoek zijn gesprekken gevoerd met mensen die ervaring hebben met mengteelten. Het Louis Bolk Instituut heeft de laatste jaren veel kennis opgedaan op het gebied van mengteelten. Op dit moment heeft het meerdere projecten lopen waarbij onderzoek naar mengteelten een belangrijk onderdeel is (Louis Bolk Instituut, sd). In publicaties worden verschillende onderzoekers en telers genoemd die zich hier mee bezig houden. Ook de WUR doet onderzoek op het gebied van mengteelten. Deze gesprekken hebben voor nieuwe inzichten gezorgd doordat deze mensen in de praktijk met mengteelten te maken hebben gehad. De informatie die uit de gesprekken is gewonnen wordt gebruikt als input voor het literatuuronderzoek.

2.4 Aanpak per deelvraag

1. Wat is het effect van mengteelten op het bodemfysische, -chemische en biologische aspect van de bodemgezondheid?

Deze vraag zal worden beantwoord aan de hand van de aspecten van bodemgezondheid die zijn beschreven in de inleiding. Er wordt gekeken naar effect van mengteelten op de bodemfysiologie, -chemie en -biologie. Dit is gedaan aan de hand van de verzamelde literatuur op basis van het zoekplan.

2. Waar moet op teelttechnisch gebied rekening mee worden gehouden om een mengteelt succesvol toe te passen?

Deze vraag zal worden beantwoord door het teelttechnische aspect van een mengteelt zoals zaaien, oogsten, gewasbescherming en bemesting te onderzoeken. Er wordt onderzocht wat er verandert ten opzichte van een monocultuur. Dit is gedaan aan de hand de verzamelde literatuur op basis van het zoekplan en gesprekken met mensen die ervaring hebben met mengteelten.

3. Welke combinaties van granen en vlinderbloemigen zijn mogelijk succesvol?

Deze vraag zal worden beantwoord door te onderzoeken welke de granen en vlinderbloemigen er in de landbouw worden gebruikt, welke combinaties worden gemaakt en wat de ervaringen hiermee zijn. Dit is gedaan aan de hand de verzamelde literatuur op basis van het zoekplan en gesprekken met mensen die ervaring hebben met mengteelten.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten weergegeven van verzamelde informatie uit literatuur, onderzoeken en gesprekken zoals in hoofdstuk 2 weergegeven. Dit wordt gedaan aan de hand van de deelvragen zoals vermeld in hoofdstuk 2.

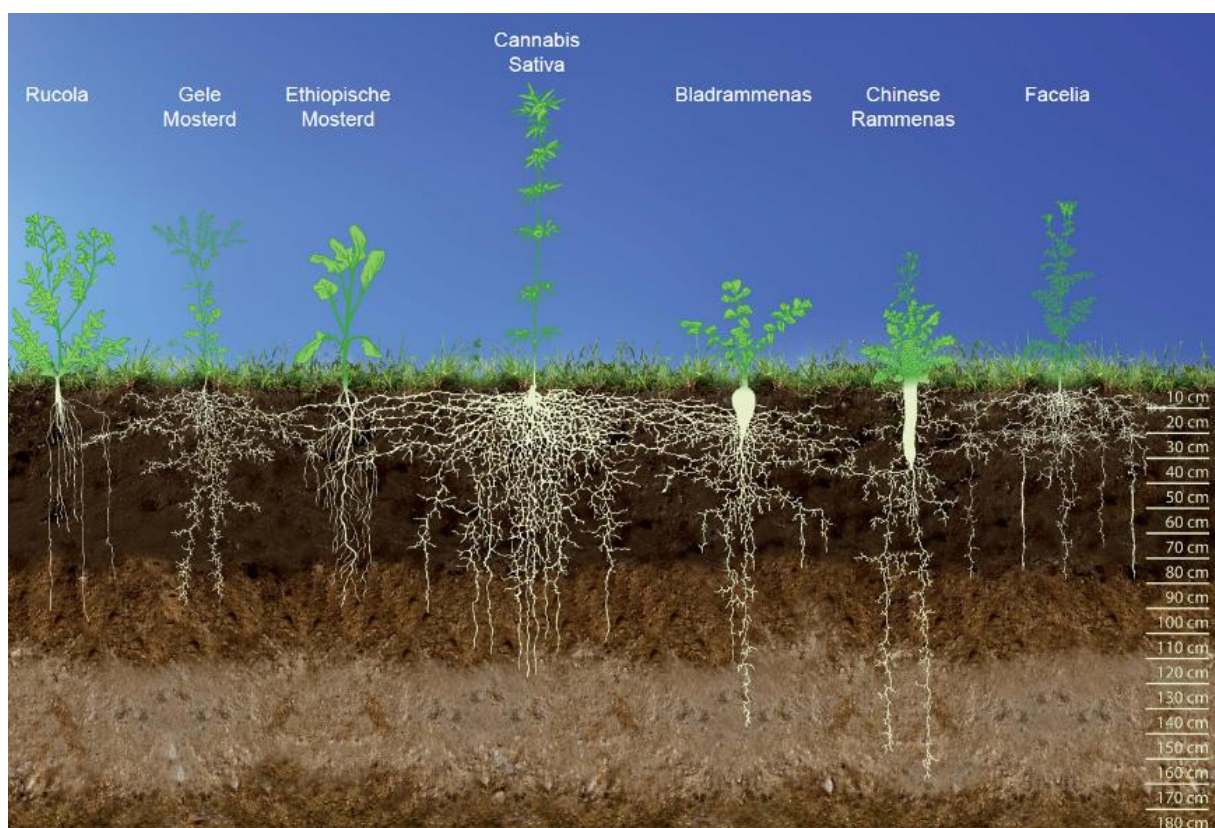
3.1 Het effect van mengteelten op de bodemgezondheid

De eerste deelvraag is: Wat is het effect van mengteelten op het bodemfysische, -chemische en biologische aspect van de bodemgezondheid? Hierbij wordt er gekeken naar de onderdelen van bodemgezondheid zoals in de inleiding genoemd en de deelvraag aangeeft: de bodem fysiologie, -chemie en -biologie en wat mengteelten op dit gebied kunnen betekenen ter bevordering van de bodemgezondheid.

3.1.1 Bodemfysiologie

Zoals in de inleiding benoemd is een goede bodemfysiologie van belang voor de aan- en afvoer van lucht, water en ruimte voor plantenwortels om in te groeien en zo ook voor de plantengroei. De bodemfysiologie is op te delen in de bodemstructuur en -textuur. De bodemtextuur, de mineralen waaruit de bodem is opgebouwd (klei, leem en zand) en organische stof. De bodemstructuur geeft de samenhang van deze mineralen aan, deze samenhang zorgt voor de zogenoemde aggregaten. Deze aggregaten worden gevormd door het bodemleven en ook plantenwortels hebben een belangrijk rol (Gould, Quinton, Weigelt, De Deyn, & Bardgett, 2016). Door de ruimte tussen de bodemaggregaten ontstaan poriën voor lucht, water en ruimte voor plantenwortels.

Verschiede plantensoorten hebben verschillende soorten wortelstelsels zoals in figuur 3.1.1 weergegeven, zelfs tussen rassen zijn er verschillen (Luske, Deru, Wösten, Faber, & van Eekeren, 2012). Deze verschillende wortelstelsels kunnen elkaar aanvullen doordat bijvoorbeeld het ene gewas intensief en oppervlakkig wortelt, en een ander gewas een penwortel maakt tot diep in de



Figuur 3.1.1 Beworteling van verschillende groenbemesters (LG seeds, sd)

bodem en minder intensief wortelt. Wanneer planten met dergelijke verschillende wortels bij elkaar groeien kunnen deze de bodemstructuur en stabiliteit verbeteren (Brooker, et al., 2015). Daarnaast zorgt plantdiversiteit voor een hogere productie van ondergrondse biomassa (Eisenhauer, et al., 2017) (Mommer, et al., 2018), waardoor er aangenomen kan worden dat de bodem intensiever wordt doorworteld wat leidt tot een grotere bijdrage aan de bodemstructuur dan een monocultuur (Eisenhauer, et al., 2017). De intensievere doorworteling van de bodem draagt bij aan het waterafvoerend vermogen door het vormen van gangen waar water door kan lopen (Gould, Quinton, Weigelt, De Deyn, & Bardgett, 2016). Doordat het water beter afgevoerd kan worden zal de bodem sneller opdrogen na een natte periode waardoor de kans op structuurbederf door het berijden van de bodem afneemt.

Uit onderzoek blijkt dat het toenemen van de plantdiversiteit een significant positief effect heeft op de aggregaat stabiliteit gemeten met verschillende methodes (Gould, Quinton, Weigelt, De Deyn, & Bardgett, 2016). Op deze manier kan een mengteelt bijdragen aan het behoud van de bodemstructuur op langere termijn.

3.1.2 Bodemchemie

De bodemchemie is van grote invloed op de groei van planten en het bodemleven. De nutriëntbeschikbaarheid is van belang voor een gezonde plantgroei en kan een beperkende factor zijn op het gebied van opbrengst, kwaliteit en ziektevering. In dit hoofdstuk wordt onderzocht of gewasmengsels meer kunnen bijdragen aan de bodemchemie dan een monocultuur.

Cation Exchange Capacity (CEC)

De Cation Exchange Capacity ofwel het klei-humuscomplex is van belang voor het opslaan van nutriënten door deze te binden aan bodemdeeltjes (lutum). Naast lutum kan organische stof hier ook gedeeltelijk aan bijdragen. Meer organische stof kan bijdragen aan een hogere CEC waardoor er meer nutriënten in de bodem kunnen worden opgeslagen. Doordat er in mengteelten meer boven- en ondergrondse biomassa wordt geproduceerd (Mommer, et al., 2018), kan dit bijdragen aan de organische stofopbouw.

Plantdiversiteit stimuleert echter ook het bodemleven waardoor de activiteit hiervan wordt verhoogd. Als gevolg hiervan gaat het bodemleven meer organische stof mineraliseren waardoor er meer nutriënten vrijkomen (Lange, et al., 2020). Deze extra afbraak van organische stof kan de toename van de organische stof in de bodem en dus een hogere CEC tegengaan.

Vlinderbloemigen

Vlinderbloemigen kunnen, in samenwerking met bodembacteriën, stikstof uit de lucht vastleggen. Uit onderzoek blijkt dat bij mengteelten van vlinderbloemigen en granen, door competitie de granen een meer dan evenredig deel van de stikstof in de bodem opnemen (Steen-Jensen, Carlsson, & Hauggaard-Nielsen, 2020). Dit komt doordat een vlinderbloemige minder competitief is als het om stikstofopname gaat dan een niet-vlinderbloemige. Of de niet-vlinderbloemige haalt stikstof uit de bodem die door de vlinderbloemige wordt vastgelegd (Levin, 2013) (White, et al., 2013). Als gevolg van concurrentie om stikstof onttrekt de vlinderbloemige meer stikstof uit de lucht dan wanneer deze als monocultuur wordt geteeld (Steen-Jensen, Carlsson, & Hauggaard-Nielsen, 2020). Vlinderbloemigen kunnen tot wel 15% van de stikstofbehoefte van granen leveren wanneer deze in mengteelt worden verbouwd (Xiao, Li, & Zhang, 2004) (Li, Ran, Zhang, Sun, & Xu, 2009). Door het toepassen van een vlinderbloemige in een mengteelt wordt de hoeveelheid plantbeschikbare stikstof in de bodem verhoogd.

Nutriëntbeschikbaarheid

Zoals eerdergenoemd kunnen plantenwortels van mengteelten de bodemstabiliteit en -structuur verbeteren ten opzichte van een monocultuur, hierdoor kunnen planten de bodem gemakkelijker doorwortelen met als gevolg een verbeterde nutriëntbeschikbaarheid (Hallet, Bengough, Gregory, & Nortcleff, 2013). Daarnaast wordt de bodem intensiever doorworteld door een mengteelt dan door een monocultuur, het gevolg hiervan is dat er een groter worteloppervlak ontstaat waardoor een hogere opname van nutriënten mogelijk is (Garrity & Morris, 1993). Doordat deze nutriënten onder planten verdeeld kunnen worden door mycorrhiza schimmels (van der Heijden & Horton, 2009) (Walder, et al., 2012) (Babikova, et al., 2013), of door recycling van nutriënten uit naastgelegen plantenresten neemt de nutriëntbeschikbaarheid toe (Zhang, et al., 2010) (Li, Tilman, Lambers, & Zhang, 2014).

Fosfaat beschikbaarheid

Fosfaat is over het algemeen in Nederlandse bodems voldoende aanwezig (Schamans, Willems, & van Duinhoven, 2008), maar vaak slecht opneembaar voor de meeste plantensoorten. Er zijn plantensoorten die door het uitscheiden van wortellexudaten deze voedingstof wel goed opneembaar kunnen maken. Echter zijn er grote verschillen tussen plantensoorten en hun capaciteit om fosfaat vrij te maken. Wanneer planten die minder fosfaat vrij kunnen maken vlak bij fosfaatvrijmakende planten groeien, kunnen deze meer van deze voedingsstof opnemen. Niet specifieke fosfaatvoorziening door fosfaat-vrijmakende planten is in diverse onderzoeken in potproeven en in een veldproef aangetoond (Li, Tilman, Lambers, & Zhang, 2014).

Van de volgende vlinderbloemigen is in onderzoek aangetoond dat de fosfaatopname bij naastgelegen planten toenam: witte lupine, duivenerwt, pinda, kikkererwt en veldboon. Er zijn echter ook onderzoeken, voornamelijk in grasland, waarin geen verschil in opname is gemeten (Li, Tilman, Lambers, & Zhang, 2014). Bij ijzer en zink zijn soortgelijke effecten als bij de fosfaat opname waargenomen, informatie hierover is echter zeer beperkt.

3.1.3 Bodembio­logie

Zoals in de inleiding aangegeven is het bodemleven van groot belang voor een gezonde bodem, het bodemleven draagt bij aan diverse processen in de bodem die belangrijk zijn voor een gezonde plant zoals onder andere structuuropbouw, mineralisatie en beheersing van populatie groottes. Planten beïnvloeden met wortel­exudaten het bodemleven, in dit hoofdstuk wordt onderzocht of een mengteelt meer bij kan dragen aan de bodembio­logie dan een monocultuur.

Biodiversiteit en biomassa

Biodiversiteit verhoogd de stabiliteit van een ecosysteem bij een veranderende omgeving en door de jaren heen (Loreau & de Mazancourt, 2013). Bodembiodiversiteit heeft een positief effect op ecosysteemfuncties zoals de nutriëntenkringloop, afbraak van organische resten, plantproductie, stabiliteit bij stress en verstoring en bescherming tegen bodem gebonden ziektes (Delgado-Baquerizo, 2020) (Brussaard, de Ruiter, & Brown, 2007).

Het effect van soortenrijkdom van planten op de biodiversiteit van het bodemleven is meerdere keren onderzocht. De uitkomsten hiervan zijn verschillend, sommige studies vonden geen correlatie en andere juist wel. Dit verschil in uitkomst kan komen door de manier en techniek van onderzoeken. Of door de verschillen in bodemtype en gebruikte plantensoorten (Dassen, et al., 2017). Verschillende onderzoeken hebben gespeculeerd dat de kwaliteit en diversiteit van plantenwortel input in de vorm van wortel­exudaten zorgen voor de effecten van plantdiversiteit op het bodemleven (Eisenhauer, et al., 2017).

Microbiële biomassa

De rol van de microbiële biomassa in de bodem is cruciaal bij het omzetten van organische stof en heeft hierdoor effect op de bodemvruchtbaarheid, de nutriëntenkringloop en bodemstructuur. Microbiële biomassa is onderdeel van de organische stof en is ongeveer twee procent van de totale organische koolstof. De microbiële biomassa bestaat uit bacteriën, actinomoseten, schimmels, algen en microfauna (Sparling, 1985).

Een toename van de planten soortenrijkdom leidt over het algemeen tot een hogere microbiële bodembiomassa (Eisenhauer, et al., 2010) (Schreber, et al., 2010) (Zak, Holmes, White, Peacock, & Tilman, 2003) en activiteit (Eisenhauer, et al., 2010). Een verklaring hiervoor is dat een hogere plantensoortenrijkdom leidt tot een diverser voedselaanbod, wat een hogere diversiteit van bodemleven voedt (Milcu, Partsch, Langel, & Scheu, 2006) (Sauheitl, Glaser, Dippold, Leiber, & Weigelt, 2010).

Een andere mogelijkheid is dat de verhoogde plantdiversiteit leidt tot hogere primaire productie, het is bekend dat de hoeveelheid groeiende wortels toeneemt bij plantdiversiteit (Mommer, et al., 2010) (Mueller, Tilman, Fornara, & Hobbie, 2013) (Ravenek, et al., 2014). Het is aannemelijk dat dit het voedselaanbod voor micro-organismen in de bodem verhoogd (Philippot, Raaijmakers, Lemanceau, & van der Putten, 2013) door een aangepaste wortel­vernieuwing en/of wortel­exudaten met als gevolg dat de biomassa van schimmels en bacteriën wordt verhoogd (de Deyn, Quirk, Oakley, Ostle, & Bardgett, 2012).

Plantparasitaire nematoden

Plantparasitaire nematoden zijn een bekende plaag in de landbouw (Neher, 2010), deze groep bodemorganismen wordt ervan verdacht verantwoordelijk te zijn voor de afname van opbrengst in verloop van tijd in soortenarme plantgemeenschappen (Reich, Eisenhauer, & Scheu, 2012).

Naast plantparasitaire nematoden leven er bacterie- en schimmel etende nematoden, roof- en alles-etende nematoden in de bodem. Deze kunnen een positief effect hebben op planten door een hogere microbiële activiteit, vrijkomen van nutriënten en onderdrukking van ziektes en plagen als gevolg van predatie door allesetende- en roofnematoden (Wilschut & Geisen, 2021).

Uit onderzoek is gebleken dat de samenstelling en diversiteit van nematoden significant mee veranderd bij een toenemende plantdiversiteit. Dit komt voornamelijk door de positieve effecten van plantdiversiteit op de hoeveelheid en soortenrijkdom van bacterie-etende-, alles-etende- en roofnematoden die profiteren van hogere bovengrondse biomassa en organische koolstof in soortenrijke plant gemeenschappen. Dit suggereert dat deze verandering kan komen door de voedselkwantiteit. Plantparasitaire nematoden werden daarentegen negatief beïnvloed door bovengrondse biomassa, waarschijnlijk door de predatie van natuurlijke vijanden, en waren positief gerelateerd aan de specifieke wortellengte en de C/N verhouding van het blad. Dit zou kunnen betekenen dat de plantparasitaire nematoden worden beïnvloed door de voedselkwaliteit (Dietrich, Cesarz, Liu, Roscher, & Eisenhauer, 2021).

De afname van plantparasitaire nematoden (nematoden per wortelmasa) bij een hogere soortenrijkdom van planten duidt op een hogere toename van plantparasitaire nematoden in soortenarme plantgemeenschappen (Dietrich, Cesarz, Liu, Roscher, & Eisenhauer, 2021) (Cortois Roeland, 2017).

Mycorrhiza

Mycorrhiza schimmels kunnen niet goed tegen een rijk bemeste bodem en intensieve grondbewerking wat vrij gangbaar is op de Nederlandse gronden. De schimmel vervult echter verschillende functies in de bodem die bijdragen aan plantengroei. Het leveren van nutriënten in ruil voor koolstof is hiervan de belangrijkste voor de plant (Smith & Read, 2008). Daarnaast kan de schimmel de abiotische en biotische stresstolerantie verhogen en de bodemstructuur verbeteren (Gianinazzi, et al., 2010) (Smith, Facelli, Pope, & Smith, 2010) (Leifheit, Veresoglou, Lehmann, Morris, & Rillig, 2014). Ook kan de schimmel plantenwortels van dezelfde of verschillende planten met elkaar verbinden waardoor er direct en efficiënt voedingsstoffen kunnen worden uitgewisseld (Montesinos-Navarro, Verdú, Querejata, Sertibrán, & Valiente-Banuet, 2016) (Qiao, et al., 2016) (Dieng, Robin, Ndoye, & Baudoin, 2017). En kunnen er signalen worden doorgegeven om kenbaar te maken dat er een plant wordt belaagd (Barto, Weidehamer, Cipollini, & Rillig, 2012).

De toename van wortelkolonisatie en bodemsporulatie door mycorrhizaschimmels is aangetoond in diverse mengteelten. Bij akkerbouwmatige teelten is een toename van wortelkolonisatie vastgesteld bij tarwe en mais in mengteelt met tuinboon en soja. Bij combinatie van sommige gewassen wordt in het jaar van telen geen toename in kolonisatie aangetroffen, dit was in het opvolgende gewas wel het geval (Minghui, Junli, & Xiangui, 2021).

Bij het toepassen van mengteelten zijn veranderingen in de diversiteit en samenstelling van de mycorrhizaschimmels aangetoond. Echter zijn er ook verschillende studies die aangeven dat mengteelten geen garantie zijn voor een hogere mycorrhiza diversiteit of veranderen van de samenstelling (Minghui, Junli, & Xiangui, 2021).

Ziektewering van bodemgebonden ziektes

De bodem bevat micro-organismen die efficiënt ziekteverwekkers kunnen onderdrukken (Latz E. , Eisenhauer, Rall, Scheu, & Jousset, 2016). Toch zijn er verschillen tussen verschillende bodems in de mate van ziektevering tegen bodemgebonden ziektes.

In de meeste onderzoeken naar ziektevering van bodemgebonden ziektes in mengteelten wordt aangenomen dat het verdunningseffect een cruciale rol speelt. Bij mengteelten wordt de afstand tussen waardplanten over het algemeen groter dan bij een monocultuur, ziektes zullen hierdoor langzamer verspreiden. De resultaten verschillen maar er kan tot wel 50% ziektereductie worden behaald. Ook de biochemische reacties tussen planten, allelopathie, wordt in onderzoeken aangedragen als mogelijke oorzaak van ziekteonderdrukking in mengteelten. Andere onderzoeken dragen verhoogde populaties van antagonisten aan als belangrijkste mechanisme voor ziekteonderdrukking in mengteelten (Hiddink, Termorshuizen, & van Bruggen, 2010). Plantdiversiteit stimuleert de structuur en activiteit van antagonistische bacteriën van plantpathogenen (Garbeva, Postma, van Veen, & van Elsas, 2005) (Latz E. , et al., 2012) (Latz, Eisenhauer, Scheu, & Jousset, 2015) (Schlatter, Bakker, Bradeen, & Kinkel, 2015). Deze effecten van plantdiversiteit op de microbiologie komen mogelijk door verhoogde plantproductie in combinatie met een verhoogde productie van wortellexudaten (Spehn, Joshi, Schmid, Alphei, & Körner, 2000) (Bardgett, de Deyn, & Quirk, 2010). De interactie tussen verschillende specifieke planten beïnvloedt de ziektevering van de bodem in grote mate (Latz E. , Eisenhauer, Rall, Scheu, & Jousset, 2016).

De microbiologie in de rhizosfeer inclusief pathogenen, antagonisten en plantengroeistimulerende bacteriën zijn gewas en ras- specifiek (Hiddink, Termorshuizen, & van Bruggen, 2010). Bij bruine boon is er onderzoek gedaan naar het effect van plantenrassen met ziekteverende eigenschappen of resistenties op de bodembiologie. Hieruit blijkt dat plantenrassen die weerbaarder zijn tegen bodemgebonden ziektes zorgen voor een grotere hoeveelheid bacteriën in de rhizosfeer. Dit suggereert dat er bij veredeling onbewust rassen zijn ontwikkeld die de bodembiologie in de rhizosfeer beter ondersteunen met wortellexudaten dan andere rassen wat zorgt voor een betere beheersing van bodem gebonden ziektes (Mendes, Raaijmakers, de Hollander, Mendes, & Tsai, 2018). Zoals eerdergenoemd in dit hoofdstuk produceren gewasmengsels mogelijk een hogere hoeveelheid en diversiteit aan wortellexudaten, het is mogelijk dat deze toename de ziektevering door gewasmengsels verklaart.

Positieve en negatieve effecten van mengteelten op de ziektevering zijn mogelijk. Uit onderzoek blijkt echter dat positieve uitkomsten vaker voorkomen, in 30 van de 36 onderzoeken naar ziektevering van bodem gebonden ziektes was er een significante ziektereductie. Bij de overige zes onderzoeken was er geen significant of een negatief effect van mengteelten op de ziektevering (Hiddink, Termorshuizen, & van Bruggen, 2010). Ook al zijn de meeste onderzoeksresultaten van ziektevering door mengteelten positief, meer onderzoek is nodig om effectieve gewasmengsels te kunnen maken met voldoende effect op ziektevering.

3.2 Aandachtspunten bij het toepassen van mengteelten in de praktijk

Het toepassen van een mengteelt heeft zoals in de inleiding beschreven een aantal voordelen, tijdens de teelt brengt het echter ook nieuwe uitdagingen met zich mee. In dit hoofdstuk wordt onderzocht met welke teelttechnische zaken er rekening moet worden gehouden om een mengteelt succesvol toe te passen. Dit wordt gedaan aan de hand van de volgende vraag: Waar moet op teelttechnisch gebied rekening mee worden gehouden om een mengteelt succesvol toe te passen?

3.2.1 Zaaïen

Voordat een mengsel gezaaid kan worden moet er worden bepaald welke gewassen en rassen er gezaaid gaan worden, dit wordt in hoofdstuk 3.3.3 verder besproken. De verhoudingen in opbrengst per gewas worden sterk beïnvloed door de verhouding in zaaizaad. Wanneer een mengteelt voor de eerste keer wordt gezaaid kunnen de volgende zaaizaad hoeveelheid en verhouding hierin worden aangehouden. Voor een vlinderbloemige 80% van de advieshoeveelheid, voor een monocultuur en voor granen 40% (Zachmann, Munz, Vezy, & Lund, 2020). Afhankelijk van het resultaat kan deze verhouding het volgende jaar worden bijgesteld, echter hebben de omstandigheden ook invloed op de verhouding in het veld. Een ander onderzoek geeft aan dat de hoeveelheid stikstof in de bodem in sterke mate de verhouding in het veld bepaalt (Results, 2021).

De diepte waarop gezaaid wordt is afhankelijk van de manier van zaaïen, beide gewassen kunnen op de adviesdiepte worden gezaaid bij het zaaïen van het mengsel met een dubbele zaaibak. Wanneer dit niet mogelijk is en er met een standaard zaaimachine wordt gezaaid kan tussen beide adviesdieptes in gezaaid worden (Dierauer, Clerc, Böhrer, Klaiss, & Hegglin, 2017). Wanneer er veel concurrentie tussen de gewassen wordt verwacht, kunnen beide gewassen op een verschillend moment worden gezaaid zoals bijvoorbeeld bij onderzaai van het vanggewas in mais gebeurt.

3.2.2 Bemesten

Bij het bemesten van meerdere gewassen moet er rekening worden gehouden met de behoefte van beide gewassen. Daarnaast moet bij een mengteelt waarin een vlinderbloemige is opgenomen rekening worden gehouden met de stikstoflevering door dit gewas, wanneer er te veel wordt bemest zal de stikstofvastlegging afnemen.

In de praktijk betekent dit dat bij een mengsel met een vlinderbloemige de basisbemesting van stikstof wordt gebaseerd op het percentage van het stikstofbehoefte gewas in het mengsel. Zit er bijvoorbeeld 40% tarwe in een mengsel dan wordt er 40% van het stikstof bemestingsadvies voor tarwe toegepast. Een gedeelte van deze startgift wordt gebruikt door de vlinderbloemige, deze levert later weer stikstof terug. Voor de overige nutriënten geldt het bemestingsadvies naar verhouding van het mengsel.

Wanneer er wordt gekeken naar de wetgeving geldt het volgende: 'Bij mengteelten rekent u met de norm voor het gewas dat in economisch opzicht het meest rendabel is. Als na de oogst van het hoofdgewas het ondergewas doorgroeit tot een oogstbaar product, mag u ook voor dit ondergewas de norm meetellen' (RVO, sd).

3.2.3 Gewasbescherming

Het toepassen van gewasbescherming in een mengteelt brengt ook nieuwe uitdagingen met zich mee. Zo hebben de gewassen verschillende eigenschappen wat de gewasbescherming zowel chemisch als mechanisch lastig kan maken. Chemische gewasbeschermingsmiddelen moeten toegelaten zijn in beide gewassen daarnaast moeten beide gewassen tegen het middel kunnen, hierdoor zijn de mogelijkheden beperkter dan bij een monocultuur.

Door het toevoegen van een gewas aan het bouwplan doordat er van een monocultuur wordt overgestapt naar een mengteelt, bestaat er de kans dat er een waardplant voor diverse ziektes en plagen bijkomt. Om problemen te voorkomen zal het bouwplan op dit gebied opnieuw moeten worden doorgelicht. Dit kan aan de hand van het aaltjesschema op aaltjesschema.nl en voor bodemgebonden schimmels via de soilhealth-tool op de website best4soil.eu. Volgens een rapport van het Louis Bolk Instituut is het opbouwen van ziektes en plagen te voorkomen met een minimale tussentijd in vruchtopvolging als in figuur 3.3.3 aangeven. Volgens een ander onderzoek is er bij het vaker toepassen van een vlinderbloemige in het bouwplan dan 1 op 5 een toename van het risico op bodemgebonden ziektes (Klaiss, 2021).

Erwten ¹	minimaal 6-8 jaar
Veldbonen ¹	minimaal 4-6 jaar
Lupine ¹	minimaal 4-6 jaar
Peulvrucht op peulvrucht	minimaal 4-5 jaar
Peulvrucht op grasklaver of luzerne	minimaal 2-3 jaar
Peulvrucht op witlof etc. ²	minimaal 3 jaar

¹ Niet bekend of dit ook geldt voor mengteelten met granen.
² Alle gewassen gevoelig voor sclerotinia.

Figuur 3.3.3 minimale vruchtrotatie (Prins & van Krimpen, Peulvruchten

3.2.4 Oogst

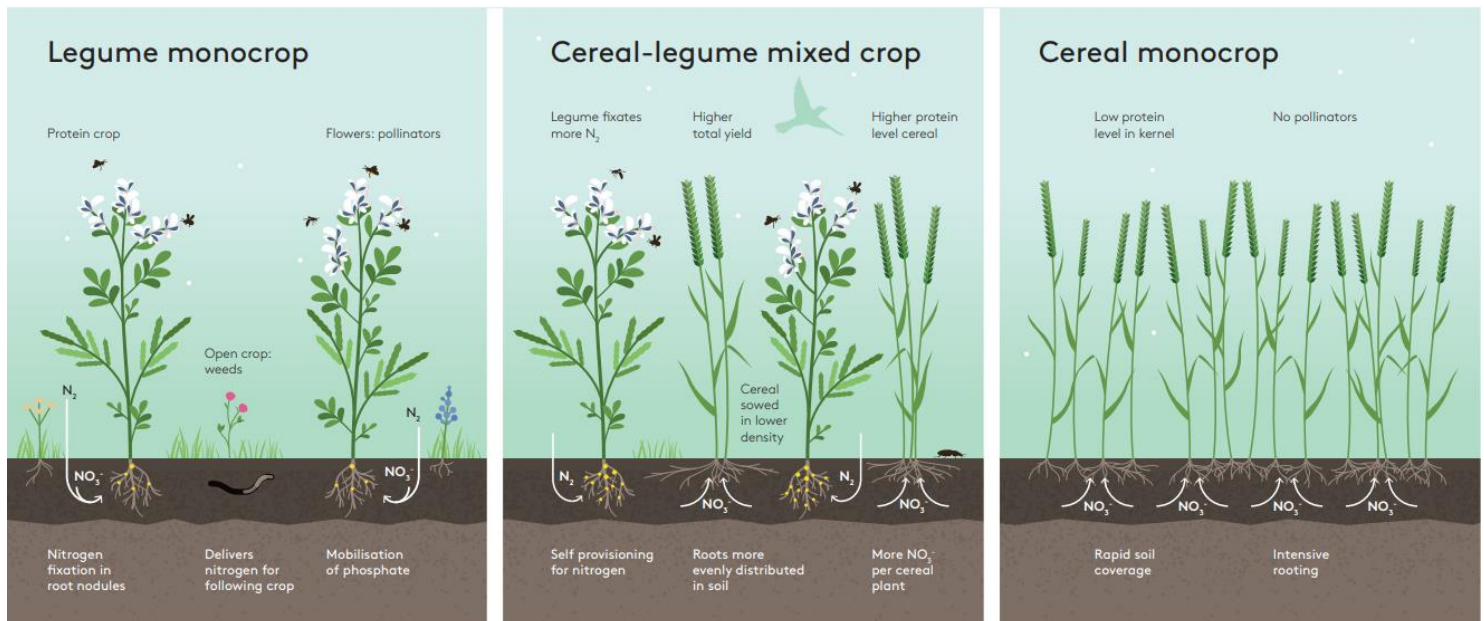
De oogst brengt ook extra uitdagingen met zich mee: zo is het van belang dat beide gewassen tegelijk afrijpen, dit is te beïnvloeden door gewas en rassencombinaties te maken die op hetzelfde moment afrijpen. Daarnaast is het belangrijk dat de gewassen met dezelfde mechanisatie geoogst kunnen worden. Wanneer dit het geval is zal de combine afgesteld moeten worden op het dorsen van de peulvrucht, bij de optimale afstelling is de schade aan peulvruchten minimaal terwijl er zoveel graan als mogelijk wordt gedorst (Dierauer, Clerc, Böhler, Klaiss, & Hegglin, 2017) (Klaiss, 2021). Wanneer er niet met dezelfde mechanisatie geoogst kan worden zal een praktijktoepassing afhankelijk zijn van de ontwikkeling van nieuwe mechanisatie, dit maakt een praktijktoepassing op de korte termijn minder aannemelijk.

3.2.5 Afzet

Bij de afzet van een mengteelt zijn er nog beperkingen, afnemers zijn ingespeeld op een standaardproduct van een monocultuur (Buck, 2021). Het is mogelijk dat het product gescheiden moeten worden om te kunnen verwerken, door de ondernemer zelf of door de afnemer, wat extra kosten met zich meebrengt (Brooker, et al., 2015).

3.3 Mogelijk succesvolle gewascombinaties

Een mengteelt van vlinderbloemige en granen is een succesvolle combinatie met diverse voordelen zoals in figuur 3.3 is te zien. In dit hoofdstuk wordt naar mogelijke combinaties gekeken aan de hand van de derde deelvraag: Welke combinaties van granen en vlinderbloemigen zijn mogelijk succesvol? Om deze deelvraag te beantwoorden worden de eigenschappen van verschillende gewassen onderzocht, uit gewassen die mogelijk potentie hebben worden gewascombinaties gemaakt. Van deze verschillende gewascombinaties wordt er gekeken naar de ervaringen hiermee in de praktijk.



Figuur 3.3 Voordelen van een mengteelt van vlinderbloemigen en granen (Remix-intercrops).

3.3.1 Vlinderbloemigen

Vlinderbloemige planten zijn van groot belang in veel mengteelten, van de top tien meest in mengteelten verbouwde gewassen zijn er zeven vlinderbloemig (Brooker, et al., 2015). Bij het toepassen van een vlinderbloemige in een mengteelt zijn er twee mogelijkheden. Ten eerste het toepassen van een niet oogstbare vlinderbloemige om de genoemde voordelen van een mengteelt te benutten. Ten tweede een peulvrucht in mengteelt die geoogst wordt. Beide mogelijkheden worden in dit hoofdstuk bekeken.

Onderzaai

In het geval van een vlinderbloemige als onderzaai is het van belang dat het gewas niet concurreert met het gewas wat wel geoogst gaat worden, anders gaat dit ten koste van de opbrengst. Dit is te beïnvloeden door onder andere het zaaimoment, de zaaihoeveelheid, de soort en het ras. Daarnaast is het van belang dat de onderzaai de oogst van het andere gewas niet bemoeilijkt.

De vlinderbloemige gewassen die aan de hiervoor genoemde eisen voor onderzaai in graangewassen voldoen zijn enkel klavers. Veelal wordt witte of rode klaver gebruikt als onderzaai, beide klavers hebben verschillende eigenschappen. Zo blijft witte klaver lager in het gewas, Perzische en rode klaver groeien hoger op wat bij een korte graanstengel problemen met de oogst kan veroorzaken. Witte klaver bindt de meeste stikstof en bij droogtegevoeligheid heeft rode klaver de voorkeur (Agrifirm, 2019). Het is van belang dat het graangewas voldoende licht doorlaat, om deze rede kan onderzaai succesvoller worden toegepast in tarwe dan in gerst of haver (Agrifirm, 2019).

Peulvruchten

Bij het gebruik van peulvruchten in een mengteelt wordt er naast het graan een peulvrucht geoogst die verkocht kan worden en de voordelen van een (vlinderbloemige in een) mengteelt biedt.

Peulvruchten worden niet veel als monocultuur verbouwd, de teelt besloeg in 2020 ongeveer 4.140 hectare wat goed is voor 0,79% van het totale akkerbouwareaal in Nederland (Rabobank, 2021). Een mogelijke rede hiervoor is dat de saldi per hectare van het reguliere akkerbouw bouwplan ten opzichte van peulvruchten hoger ligt (Verstand, van der Voort, & Vijn, 2020). Gemiddeld levert de teelt van een hectare tarwe en gerst, afhankelijk van de grondsoort, ongeveer een resultaat op van €1.150 en €1.100 (KWIN AGV, 2015).

Het resultaat van in Nederland geteelde peulvruchten bedraagt (Verstand, van der Voort, & Vijn, 2020):

- Veldboon €775
- Erwtten (conserventeelt) €1.270
- Erwtten (droog) €570 (Boerenbond, 2014)
- Soja €680
- Lupine €460

Wanneer een peulvrucht echter in mengteelt wordt geteeld neemt het financiële resultaat mogelijk toe doordat een gedeelte van de opbrengst een graan bedraagt, een mogelijk verhoogde opbrengst, een hoger eiwitgehalte in het graan en lagere teeltkosten als bemesting en gewasbescherming. Ook kunnen de effecten van een mengteelt een positieve bijdrage leveren aan het resultaat van opvolgende gewassen of het gehele bouwplan. De oogst en het scheiden van het product kan echter weer hogere kosten met zich meebrengen doordat dit mogelijk meer werk is (Brooker, et al., 2015). Volgens een rapport van FiBL levert een mengteelt van erwten en gerst in het jaar van telen een hoger resultaat op dan een monocultuur van beide gewassen (Dierauer, Clerc, Böhrer, Klaiss, & Hegglin, 2017). Voor exacte cijfers van het resultaat van een mengteelt is aanvullend onderzoek nodig. Door veredeling en toename van de vraag naar (lokaal geproduceerde) plantaardige eiwitten kan het financiële resultaat van peulvruchten in de toekomst verder toenemen (Verstand, van der Voort, & Vijn, 2020).

Peulvruchten die in Nederland akkerbouwmatig geteeld worden zijn veldbonen, erwten, soja, lupine, bruine bonen, kidneybonen en stamslabonen. Veldbonen, erwten, soja en lupine zijn bij het goed afstellen van de machine te oogsten met dezelfde mechanisatie die gebruikt wordt voor het oogsten van granen (Dierauer, Clerc, Böhrer, Klaiss, & Hegglin, 2017) (Tönjes, 2021). Hierdoor is het mogelijk deze gewassen in mengteelt met granen te telen.

Bij de keuze van een peulvrucht moet rekening worden gehouden met giftige stoffen die ze kunnen bevatten, per soort en ras kan de aanwezigheid van verschillende giftige stoffen variëren. Mensen en dieren kunnen afhankelijk van de soort en de hoeveelheid van de giftige stof er wel of niet tegen.

3.3.2 Granen

Onder granen behoren tarwe, gerst, haver, rogge, mais, rijst, spelt en gierst. In Nederland wordt vooral tarwe en gerst geteeld vanwege het financiële resultaat. Omdat het bedrijfseconomische aspect van belang is voor het succesvol toepassen in de praktijk worden er enkel mengteelten met deze twee granen onderzocht.

3.3.3 Combinaties

Met de eerdergenoemde gewassen kunnen er tien combinaties worden gemaakt, daarnaast is er de mogelijkheid om in het voorjaar of najaar te zaaien. In deze paragraaf wordt er onderzocht wat er bekend is over deze combinaties en/of wat de ervaringen hiermee zijn.

Bij deze combinaties is het van belang dat het afrijpen van beide gewassen op hetzelfde moment plaatsvindt en dat de gewassen niet te veel met elkaar concurreren. Hieronder is weergegeven wat er bekend is over de tien mengteelten.

Tarwe-klover: Wordt in de praktijk toegepast, bij mislukken geen opbrengstverlies.

Gerst-klover: Minder slagingskans doordat er minder zonlicht onder in het gewas komt, bij mislukking ook geen opbrengstverlies.

Tarwe-veldboon: In de praktijk blijkt dit een succesvolle combinatie: waar de boon slecht groeit vangt de tarwe dit op, de winterteelt heeft mogelijk nog meer potentie (Buck, 2021) (Buijs, 2021). Uit praktijkonderzoek blijkt dat een vroegrijp, lang zomertarwe ras aan te bevelen is (Beeckman, Sobry, & Govaerts, 2014).

Gerst-veldboon: Wordt in de praktijk voor zover bekend niet toegepast, waarschijnlijk komt het moment van afrijpen niet met elkaar overeen.

Tarwe-erwt: Uit praktijkonderzoek blijkt dat erwten niet gecombineerd kunnen worden met zomertarwe (Beeckman, Sobry, & Govaerts, 2014). Wintererwten en wintertarwe daarentegen is wel een goede combinatie (DriverIMPACTS, 2019). Bij de najaarsteelt heeft de tarwe de neiging om te laat af te rijpen ten opzichte van de erwt (Dierauer, Clerc, Böhler, Klaiss, & Hegglin, 2017).

Gerst-erwt: Gelijmatige afrijping bij zowel naajaarszaai als voorjaarszaai (Dierauer, Clerc, Böhler, Klaiss, & Hegglin, 2017).

Deze teelt wordt in Zwitserland op redelijk grote schaal toegepast om de import van soja terug te dringen (DriverIMPACTS, 2019).

Tarwe/gerst-soja: De soja teelt is in Nederland nog in ontwikkeling, over mengteelten met soja is voor zover bekend geen praktijkinformatie beschikbaar.

Tarwe/gerst-lupine: Matige en minder stabiele opbrengst doordat de rasontwikkeling van lupine in Nederland nooit zo op gang is gekomen (Buck, 2021).

Over het algemeen levert een de teelt van deze mengsels in het najaar hogere opbrengsten dan een voorjaarsteelt. Ook is het gewas verder ontwikkeld op het moment dat de bladluisdruk toeneemt en ondervindt het gewas hier minder last van (Dierauer, Clerc, Böhler, Klaiss, & Hegglin, 2017).

Bij de keuze van een van de mengsels is het van belang dat de bodem geschikt is voor de peulvrucht, dit is niet bij elke bodem het geval. De eisen aan de bodem die bekend zijn verschillen per peulvrucht en zijn hieronder weergegeven (Prins & van Krimpen, Peulvruchten voor krachtvoer, 2007):

- Erwten: Produceert het best op goede akkerbouwgrond (zeeklei en enkeerdgronden) met een goede fosfaattoestand, die goed ontwaterd zijn, geen structuurschade hebben, niet droogtegevoelig zijn en een pH van boven de 4,5-5.
- Veldbonen: Produceert zowel op klei als zandgronden die niet droogtegevoelig zijn, die goed ontwaterd zijn, diep doorwortelbaar zijn en een pH van boven de 5,2.
- Lupine: Van oorsprong een plant van arme zandgrond. Percelen moeten goed ontwaterd zijn, geen storende lagen of structuurschade hebben, de grond moet geen vrije kalk bevatten en een pH van lager dan 6-7 hebben.

4 Discussie

Met het antwoord op de hoofdvraag kunnen agrarische ondernemers en adviseurs hun voordeel doen door deze resultaten mee te nemen in de bedrijfsvoering of bij het adviseren. En mogelijk kan dit bijdragen aan het toekomstbestendiger maken van de Nederlandse landbouw.

Uit de resultaten blijkt dat mengteelten bijdragen aan het verbeteren van diverse aspecten van de bodemfysiologie, -chemie en -biologie en op deze manier aan een verbeterde bodemgezondheid. Op zijn beurt kan dit bijdragen aan gezonde planten waardoor er minder input nodig is voor de teelt van een gewas. Om een mengteelt in de praktijk toe te kunnen passen moet met een aantal zaken op teelttechnisch gebied rekening worden gehouden. Het is van belang dat de gewassen die in mengteelt worden verbouwd met dezelfde mechanisatie kunnen worden geoogst. Van de combinaties van vlinderbloemigen en granen waarbij dit mogelijk is hebben een mengteelt van tarwe-veldboon, gerst-erwt en tarwe/gerst-klaver de meeste potentie voor een toepassing in de praktijk, op basis van bekende informatie en ervaringen.

Het onderzoek is aangevangen zoals in hoofdstuk 2 aangegeven, op basis van verzamelde informatie uit literatuur, onderzoeken en gesprekken. Met deze informatie zijn deelvragen beantwoord. Doordat de gevonden informatie over verschillende onderwerpen zeer divers en omvangrijk was, is hier een selectie in gemaakt. Het is mogelijk dat hierdoor niet alle bronnen met relevante informatie zijn geraadpleegd. Dit maakt dat er mogelijk belangrijke informatie ontbreekt in het onderzoek. De resultaten uit literatuur en onderzoek spraken elkaar soms tegen, dit maakt dat niet altijd op alle onderdelen van de deelvragen een duidelijk antwoord is te geven.

Beschikbare informatie over de invloed van plantdiversiteit op de bodemgezondheid komt veelal uit onderzoek met een beperkt aantal combinaties van plantensoorten, echter kan de invloed van verschillende combinaties van planten soorten en rassen op de bodemgezondheid sterk verschillen. Daarnaast worden in onderzoek soms tot wel 60 plantensoorten gebruikt bij het aantonen van een effect van plantdiversiteit op de bodemgezondheid, in een mengteelt blijft het aantal plantensoorten echter beperkt. Om deze reden kan er niet van uit worden gegaan dat de genoemde effecten van mengteelten op de bodemgezondheid altijd voorkomen en zullen deze effecten afhankelijk van het mengsel in meer of mindere mate optreden. Daarnaast zijn diverse onderzoeken uitgevoerd in continueelten, waarbij er geen rekening wordt gehouden met gewasrotaties. Of blijven onderzoeken in sommige gevallen beperkt tot een of enkele jaren waardoor de effecten op langere termijn onbekend zijn. Ook wordt er niet altijd rekening gehouden met de verschillen in grondsoorten en klimaat. Dit maakt dat het onduidelijk is of deze effecten in een praktijktoepassing zullen worden teruggezien.

Een sterk punt van het onderzoek is dat een groot deel van de kennis benodigd bij een praktijktoepassing van een mengteelt in dit onderzoek is verzameld. Hierdoor is het gemakkelijker om met een mengteelt te gaan experimenteren, dit vergroot de kans op het toepassen van mengteelten in de praktijk.

5 Conclusie en aanbeveling

Een gezonde bodem kan bijdragen aan het toekomstbestendig maken van de landbouw door de benodigde input te verlagen en veerkrachtiger te zijn. Planten zelf kunnen indirect bijdragen aan een gezonde bodem op fysisch, chemisch en biologisch vlak. Neemt dit effect verder toe wanneer er meerdere plantensoorten bij elkaar groeien zoals in de natuur? En kan dit in de praktijk worden toegepast? Dit is onderzocht bij de maaigewassen vlinderbloemigen en granen aan de hand van de volgende vraag: **In hoeverre kunnen mengteelten van vlinderbloemigen en granen in de praktijk worden toegepast en hiermee de bodemgezondheid ten opzichte van een monocultuur bevorderen?**

5.1 Het effect van mengteelten op de bodemgezondheid

Door het effect van een mengteelt op de bodemfysiologie, -chemie en -biologie te onderzoeken is het effect van een mengteelt op de bodemgezondheid bepaald. Op deze manier kan de eerste deelvraag, Wat is het effect van mengteelten op het bodemfysische, -chemische en biologische aspect van de bodemgezondheid, worden beantwoord.

Een goede bodemfysiologie is van belang voor de aan en afvoer van lucht, water en ruimte voor plantenwortels om in te groeien. In een bodem opgebouwd uit aggregaten gevormd door het bodemleven en plantenwortels ontstaan poriën voor lucht, water en ruimte voor plantenwortels. Verschillen in wortelstelsels tussen plantensoorten en rassen kunnen elkaar aanvullen en hiermee de bodemstructuur en stabiliteit bevorderen, ook wordt de bodem intensiever doorworteld bij een hogere plantdiversiteit. Daarnaast heeft plantdiversiteit een positief effect op de aggregaat stabiliteit en dus behoud van de bodemstructuur.

De bodemchemie is van grote invloed op de groei van planten en het bodemleven. De nutriëntbeschikbaarheid is van belang voor een gezonde plantgroei en kan een beperkende factor zijn op het gebied van opbrengt. Doordat mengteelten meer boven en ondergrondse biomassa produceren kan dit bijdragen aan de organische stofopbouw en daardoor aan de CEC. Plantdiversiteit stimuleert echter ook de activiteit van het bodemleven waardoor er meer wordt gemineraliseerd wat op zijn beurt zorgt voor meer afbraak van organische stof waardoor de toename van de CEC kan worden tegengegaan. Doordat een vlinderbloemige minder competitief is als het om stikstofopname gaat dan een niet-vlinderbloemige. Of de niet-vlinderbloemige haalt stikstof uit de bodem die door de vlinderbloemige wordt vastgelegd. Onttrekt de vlinderbloemige meer stikstof uit de lucht dan wanneer deze als monocultuur wordt geteeld. De nutriëntbeschikbaarheid in een mengteelt verbeterd door een beter bodemstructuur, intensiever doorwortelde bodem met als gevolg een groter worteloppervlak en een hoger mogelijke nutriëntopname. Tussen planten zijn er verschillen in de mogelijkheid om fosfaat vrij te maken. Door planten die goed fosfaat vrij kunnen maken in mengteelt te telen met planten die dit minder goed kunnen, kan de fosfaatopname van deze planten worden verhoogd. Dit effect is bij planten die naast verschillende vlinderbloemigen groeien waargenomen.

De bodembioologie draagt bij aan belangrijke processen in de bodem. Biodiversiteit van het bodemleven verhoogt de stabiliteit van het ecosysteem bij veranderende omstandigheden. Bij verhoogde plantendiversiteit wordt afhankelijk van het onderzoek wel of niet een verhoogde diversiteit van het bodemleven gemeten. De microbiële biomassa en activiteit daarentegen neemt over het algemeen wel toe bij een hogere plantdiversiteit. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat een hogere plantdiversiteit leidt tot een gevarieerder of verhoogd voedselaanbod. Plant parasitaire nematoden zijn een bekende plaag in de landbouw en worden ervan verdacht verantwoordelijk te zijn voor de afname van opbrengst in verloop van tijd in soortenarme plantengemeenschappen. De hoeveelheid plant parasitaire nematoden per wortelmassa neemt af bij het toenemen van de plantdiversiteit. Mycorrhiza schimmels vervullen verschillende functies in de bodem die bijdragen

aan plantengroei. De toename van wortelkolonisatie en bodem sporulatie door mycorrhiza schimmels is aangetoond in diverse mengteelten. De aangetoonde effecten van mengteelten op de diversiteit en samenstelling van de mycorrhiza schimmels zijn wisselend. De bodem bevat micro-organismen die efficiënt ziekteverwekkers kunnen onderdrukken, toch verschilt de ziektevering per bodem. Mogelijke oorzaken voor verminderde ziekte en plagen druk in mengteelten zijn het verdunningseffect, allopathie en verhoogde populaties antagonisten. Plant diversiteit stimuleert de structuur en activiteit van antagonistische bacteriën van plant pathogenen. De interactie tussen verschillende specifieke planten beïnvloedt de ziektevering van de bodem in grote mate. De microbiologie in de rhizosfeer inclusief pathogenen, antagonisten en plantengroei stimulerende bacteriën zijn gewas en ras- specifiek. Planten die weerbaarder zijn tegen bodem gebonden ziektes zorgen voor een grotere hoeveelheid bacteriën in de rhizosfeer, waarschijnlijk doordat deze beter gevoed worden met wortellexudaten. Gewasmengsels produceren mogelijk een hogere hoeveelheid en diversiteit aan wortellexudaten, het is mogelijk dat deze toename de ziektevering door gewasmengsels verklaart die door diverse onderzoeken is aangetoond.

Uit de resultaten blijkt dan mengteelten bijdragen aan het verbeteren van diverse aspecten van de bodemfysiologie, -chemie en -biologie en op deze manier aan een verbeterde bodemgezondheid. Op zijn beurt kan dit bijdragen aan het gezonde planten waardoor er minder input nodig is voor de teelt van een gewas.

De effecten van plantdiversiteit op de onderdelen van bodemgezondheid zijn echter veelal onderzocht in een enkel mengsel of een beperkt aantal mengsels. Hierdoor is het niet zeker dat deze effecten in elke mengteelt terug zijn te zien. Daarnaast nemen de effecten van plantdiversiteit op de bodemgezondheid veelal toe bij een toename van het aantal plantensoorten. Omdat in een productiegewas in de landbouw de hoeveelheid plantensoorten beperkt blijft is het de vraag of deze effecten dan ook zullen worden waargenomen. Er is onderzoek nodig naar het effect van specifieke mengteelten van akkerbouwgewassen op de bodemgezondheid om hier meer over te kunnen zeggen.

5.2 Aandachtspunten bij het toepassen van mengteelten in de praktijk

Bij het toepassen van een mengteelt moet er op teelttechnisch gebied met een aantal zaken rekening worden gehouden om dit succesvol toe te kunnen passen. Dit is onderzocht aan de hand van de deelvraag: Waar moet op teelttechnisch gebied rekening mee worden gehouden om een mengteelt succesvol toe te passen?

Bij het zaaien is de zaaizaadverhouding van belang voor een optimale verhouding in opbrengst per gewas. Wanneer een mengteelt voor de eerste keer wordt toegepast kan een zaaizaadhoeveelheid van 80% van de advieshoeveelheid zaaizaad voor een monocultuur en 40% van een graan worden aangehouden. Wanneer mogelijk kan het zaaizaad voor beide gewassen op de adviesdiepte worden gezaaid, als dit niet mogelijk is kan tussen beide adviesdiepte in worden gezaaid.

Bij het bemesten van meerdere gewassen moet er rekening worden gehouden met de behoefte van beide gewassen. Bij een mengsel met vlinderbloemige betekent dit dat de stikstofbemesting naar verhouding van het stikstofbehoefte gewas wordt gegeven. Ook moet er gelet worden op de wetgeving.

Doordat gewassen verschillende eigenschappen hebben kan dit gewasbescherming lastig maken. In het geval van chemische gewasbescherming moet het middel in beide gewassen zijn toegelaten. Door het toevoegen van een gewas aan het bouwplan zal opnieuw naar ziektes en plagen in de vruchtopvolging moeten worden gekeken.

Voor de oogst is het van belang dat de gewassen tegelijk afrijpen, dit is door gewas en rassencombinaties te beïnvloeden. Het is van belang dat er met de huidige mechanisatie geoogst kan worden, wanneer dit niet het geval is maakt dit een praktijktoepassing op korte termijn minder aannemelijk. De afzet van een mengteelt brengt mogelijk extra kosten met zich mee omdat het product gescheiden moet worden.

Wanneer er rekening wordt gehouden met de genoemde teelttechnische aandachtspunten is het mogelijk om een mengteelt in de praktijk toe te passen. De beschikbare kennis over mengteelten is echter tot op heden beperkt beschikbaar, de beschikbare kennis zal gebundeld moeten worden en aanvullend onderzoek is nodig om dergelijke teelten verder te optimaliseren. Aanvullende informatie is of komt mogelijk beschikbaar via de websites van Remix-intercrops, SymbIOse-interreg, DIVERSify en FiBL.

5.3 Mogelijk succesvolle gewascombinaties

Een mengteelt van vlinderbloemige en granen is een succesvolle combinatie met diverse voordelen. Eigenschappen van deze gewassen zijn onderzocht om combinaties te kunnen maken.

Vlinderbloemigen worden veel in mengteelten toegepast, dit kan als onderzaai of als oogstbare peulvrucht. In het geval van onderzaai voldoen enkel klavers aan de eisen doordat deze niet concurreren met het te oogsten gewas en de oogst hiervan niet bemoeilijken.

Bij een mengteelt met oogstbare peulvrucht wordt naast het graan een peulvrucht geoogst. Peulvruchten worden in Nederland weinig als monocultuur verbouwd omdat de saldi van het reguliere bouwplan ten opzichte van een peulvrucht hoger ligt. Bij het toepassen van een peulvrucht in een mengteelt neemt het financiële resultaat mogelijk toe. Door veredeling en de vraag naar plantaardige eiwitten kan het financiële resultaat in de toekomst nog verder toenemen. Peulvruchten die in Nederland worden geteeld en bij goed afstellen van de machine met dezelfde mechanisatie als granen geoogst kunnen worden zijn veldbonen, erwten, soja en lupine.

Van de granen die verbouwd worden leveren tarwe en gerst het hoogste financiële resultaat op, omdat het bedrijfseconomische aspect van belang is voor het succesvol toepassen in de praktijk worden er enkel mengteelten met deze twee granen onderzocht.

Met de eerdergenoemde gewassen kunnen er tien combinaties worden gemaakt, daarnaast is er de mogelijkheid om in het voorjaar of najaar te zaaien. Van deze combinaties hebben een mengteelt van tarwe-veldboon, gerst-erwt en tarwe/gerst-klaver de meeste potentie voor een toepassing in de praktijk op basis van bekende informatie en ervaringen.

Meer onderzoek is nodig naar het financiële resultaat van de genoemde mengteelten om te achterhalen wat een mengteelt werkelijk oplevert ten opzichte van een monocultuur. Het is van belang dat ook de invloed op de genoemde voordelen van bodemgezondheid hierin worden meegenomen en mogelijk de voordelen van een mengteelt over het gehele bouwplan. Verder is er meer onderzoek nodig naar succesvolle rassencombinaties, de kennis hierover is zeer beperkt. Mogelijk moeten er gewassen worden veredeld met goede eigenschappen voor het toepassen in mengteelten.

5.4 Conclusie

Een aantal mengteelten van vlinderbloemigen en granen kunnen in de praktijk worden toegepast wanneer er rekening wordt gehouden met een aantal zaken op teelttechnisch gebied. Voor het toepassen in de praktijk is het financieel resultaat van belang, informatie hierover is beperkt beschikbaar, meer onderzoek hiernaar is benodigd. Over het algemeen biedt een hogere plantdiversiteit diverse voordelen, ook op het gebied van bodemgezondheid is dit het geval. Hoewel het effect van mengteelten op de bodemgezondheid positief is, is onderzoek naar het effect van specifieke mengteelten van akkerbouwgewassen op de bodemgezondheid nodig om meer over de effecten hiervan te kunnen zeggen.

De resultaten van dit onderzoek geven diverse handvatten en inzichten waardoor mengteelten in de praktijk door ondernemers of onderzoekers kunnen worden toegepast of getest, daarnaast kan er onderzoek worden gedaan om de vragen die als gevolg van dit onderzoek zijn ontstaan te beantwoorden.

Bibliografie

- ABN AMRO. (2017). *Alles van Waarde, circulariteit door sectoren heen*. ABN AMRO.
- Agrifirm. (2019, April 24). *Onderzaai graan levert voordelen*. Opgehaald van Agrifirm: <https://www.agrifirm.nl/nieuws/onderzaai-graan-levert-voordelen/>
- Agrifirm. (2020, Oktober 1). *Bodemleven: wie doet wat*. Opgehaald van Agrifirm: <https://www.agrifirm.nl/nieuws/bodemleven-wie-doet-wat/>
- Baar, J. (2020, November 24). *Boom in Buisines*. Opgehaald van Innovatieve producten met bodemleven: een must voor duurzame boom- en sierteelt: <https://www.boom-in-business.nl/article/34676/innovatieve-producten-met-bodemleven-een-must-voor-duurzame-boom--en-sierteelt>
- Babikova, Z., Gilbert, L., Bruce, T. J., Birkett, M., Caulfield, J. C., Woodcock, C., . . . Johnson, D. (2013). Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecology letters*, 835-843.
- Bardgett, R. D., de Deyn, G. B., & Quirk, H. (2010). Plant species richness, identity and productivity differentially influence key groups of microbes in grassland soils of contrasting fertility. *Biology letters*.
- Barto, K. E., Weidehamer, J. D., Cipollini, D., & Rillig, M. C. (2012). Fungal superhighways: do common mycorrhizal networks enhance below ground communication? *Trends in plant science*, 633-637.
- Beeckman, A., Sobry, L., & Govaerts, W. (2014, December). *Mengteelten graan met erwten of veldbonen*. Opgehaald van Biokennis: <https://edepot.wur.nl/326325>
- Boerenbond. (2014, September 19). Hoe is de rendabiliteit van eiwitgewassen. *Boerenbond*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/317411>
- Bos, J., de Haan, J., & Sukkel, W. (2007). *Energieverbruik, broeikasgasemissies en koolstof-opslag: de biologische en gangbare landbouw vergeleken*. Wageningen: Wageningen UR.
- Bos, M., Korthals, G., Molendijk, L., & Zanen, M. (2009). *Weerbare bodem in het kader van functionele agrobiodiversiteit (FAB)*. Louis Bolk Instituut. Opgehaald van <http://www.louisbolk.org/downloads/2214.pdf>
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W.-F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., . . . Schöb, C. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New phytologist*, 107-117.
- Brussaard, L., de Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, ecosystems & environment*, 233-244.
- Buck, d. A. (2021, Oktober 8). (J. v. Tiggelen, Interviewer)
- Buijs, J. (2021, Oktober 15). (J. v. Tiggelen, Interviewer)
- CBS. (2020, Mei 7). *De landbouw in de Nederlandse economie, 5 Landbouw en Milieu*. Opgeroepen op April 27, 2021, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/de-nederlandse-economie/2020/de-landbouw-in-de-nederlandse-economie/5-landbouw-en-het-milieu>
- Cortois Roeland, V. G. (2017). Possible mechanisms underlying abundance and diversity responses of nematode communities to plant diversity. *Ecosphere*.
- Dassen, S., Cortois, R., Martens, H., de Hollander, M., Kowalchuk, G. A., van der Putten, W. H., & de Deyn, G. B. (2017). Differential responses of soil bacteria, fungi, archaea and protists to plant species richness and plant functional group identity. *Molecular ecology*, 4085-4098.
- de Deyn, G. B., Quirk, H., Oakley, S., Ostle, N. J., & Bardgett, R. D. (2012). Increased plant carbon translocation linked to overyielding in grassland species mixtures. *Plos*.
- Delgado-Baquerizo, M. R.-V.-Z. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature ecology & evolution*, 210-220.
- Dieng, A., Robin, D., Ndoye, I., & Baudoin, E. (2017). Positive feedback with mycorrhizal fungi alleviates negative effect of intercropping the energy crop *Jatropha curcas* with *Crotalaria retusa*. *Symbiosis*, 107-116.

- Dierauer, H., Clerc, M., Böhler, D., Klaiss, M., & Hegglin, D. (2017). *Erfolgreicher anbau von körnerleguminosen in mischkultur mit getreide*. Frick: FiBL.
- Dietrich, P., Cesarz, S., Liu, T., Roscher, C., & Eisenhauer, N. (2021). Effect of plant species diversity on nematode community composition and diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*, 297-311.
- DriverIMPACTS. (2019, April 26). *Case study 17: Belgium: Grain legumes intercropping with cereals*. Opgehaald van DriverIMPACTS: <https://www.diverimpacts.net/case-studies/case-study-17-be.html>
- DriverIMPACTS. (2019, Augustus 19). *Case study 20: Switzerland: Intercropping for species other than peas and faba beans in association with cereal*. Opgehaald van DriverIMPACTS: <https://www.diverimpacts.net/case-studies/case-study-20-ch.html>
- Eisenhauer, N., Beßler, H., Engels, C., Gleixner, G., Habekost, M., Milcu, M., . . . Scheu, S. (2010). Plant diversity effects on soil microorganisms support the singular hypothesis. *Ecology*, 485-496.
- Eisenhauer, N., Lanoue, A., Strecker, T., Scheu, S., Steinauer, K., Thakur, M. P., & Mommer, L. (2017). Root biomass and exudates link plant diversity with soil bacterial and fungal biomass. *Scientific reports*.
- Erismann, J., Koopmans, C., Luske, B., & Zanen, M. (2017). *Biodiverse akkerbouw*. Bunnik: Louis Bolk Instituut.
- Garbeva, P., Postma, J., van Veen, J. A., & van Elsas, J. D. (2005). Effects of above-ground plant species on soil microbial community structure and its impact on suppression of rhizoctonia solani AG3. *Environmental microbiologie*, 233-246.
- Garriety, D., & Morris, R. (1993). Resource captures and utilization in intercropping; non-nitrogen nutrients. *Field crops research*, 319-334.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.-N., van Tuinen, D., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhizza*, 519-530.
- Goosen, Blom-Zandstra, G., & Hasse. (2010). *Klimaatverandering: kansen voor de landbouw*. Wageningen: Plant Research International.
- Gould, I. J., Quinton, J. N., Weigelt, A., De Deyn, G. B., & Bardgett, R. D. (2016). Plant diversity and root traits benefit physical properties key to soil function in grasslands. *Ecology letters*, 1140-1149.
- Groen Kennisnet. (2019, September 05). *Bodemgezondheid*. Opgeroepen op April 27, 2021, van Groen Kennisnet: <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/dossier/dossier-bodemgezondheid.htm>
- Groen kennisnet. (sd). *Biologische bedrijfsvoering*. Opgeroepen op September 22, 2020, van Groen Kennisnet: <https://wiki.groenkennisnet.nl/display/BB/3.3.+werken+met+agro-biodiversiteit>
- Hallet, P. D., Bengough, A. G., Gregory, P., & Nortcliff, S. (2013). *Soil condition and plant growth*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Handboek bodem en Bemesting. (sd). *Bodemgezondheid*. Opgeroepen op April 27, 2021, van Handboek beter bodembeheer: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Bodem/Bodemgezondheid.htm>
- Handboek bodem en bemesting. (sd). *Bodemstructuur*. Opgeroepen op September 15, 2021, van Handboek bodem & bemesting: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Bodem/Bodemstructuur.htm>
- Hiddink, G. A., Termorshuizen, A. J., & van Bruggen, A. H. (2010, Maart 23). *Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming*. Opgehaald van Springer: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-8741-6_5
- Hoogmoed, M. (2020). *Bodemleven: Houd(t) uw bodem in leven!* Van Iperen.
- Kennisplatform Bodem & Natuur. (sd). *De belangrijkste succesfactoren: bodemleven*. Opgeroepen op September 19, 2021, van Kennisplatform Bodem & Natuur: <http://www.bodem-natuur.nl/themas/succesfactoren/bodemleven/#>

- Klaiss, M. (2021). *Productiesystemen*. Opgehaald van Organic farm knowledge: <https://orgprints.org/id/eprint/42384/1/PN%2017%20Intercropping%20of%20grain%20pea%20with%20cereals%5B16%5D.pdf>
- Koopmans, C., Erisman, J., Zanen, M., van Eekeren, N., & Wagenaar, J. (2020). Prestatie-indicatoren voor landbouwbodems. *Landschap*. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/536124>
- (2015). *KWIN AGV*. Lelystad: Wageningen UR.
- Lange, M., Roth, V.-N., Eisenhauer, N., Roscher, C., Dittmar, T., Fischer-Bedtke, C., . . . Scheu, S. (2020). Plant diversity enhances production and downward transport of biodegradable dissolved organic matter. *Journal of ecology*, 1284-1297.
- 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*, 597-604.
- Latz, E., Eisenhauer, N., Rall, B. C., Scheu, S., & Jousset, A. (2016). Unravelling linkages between plant community composition and the pathogen-suppressive potential of soils. *Scientific Reports*.
- Latz, E., Eisenhauer, N., Scheu, S., & Jousset, A. (2015). Plant identity drives the expression of biocontrol factors in a rhizosphere bacterium across a plant diversity gradient. *Functional ecology*, 1225-1234.
- LEI. (2006). *Ondernemers en actoren in hun omgeving in beweging*. Den Haag: LEI.
- Leifheit, E. F., Veresoglou, S. D., Lehmann, A., Morris, K. E., & Rillig, M. C. (2014). Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation. *Plant and soil*, 523-537.
- Levin, S. A. (2013). *Encyclopedia of biodiversity: Second edition*. Elsevier Inc.
- LG seeds. (sd). *Beworteling van groenbemesters in beeld*. Opgeroepen op September 27, 2021, van LG Seeds: <https://www.lgseeds.nl/news/post/beworteling-van-groenbemesters-in-beeld/>
- Li, C., Hoffland, E., Kuyper, T. W., Yu, Y., Zhang, C., Li, H., . . . van de Werf, W. (2020). Syndromes of production in intercropping impact yield gains. *Nature plants*, 653-660.
- Li, L., Tilman, D., Lambers, H., & Zhang, F.-S. (2014). Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New phytologist*, 63-69.
- Li, Y., Ran, W., Zhang, R., Sun, S., & Xu, G. (2009). Facilitated legume nodulation, phosphate uptake and nitrogen transfer by arbuscular inoculation in an upland rice and mung bean intercropping systems. *Plant and Soil*, 285-296.
- Loreau, M., & de Mazancourt, C. (2013). Biodiversity and ecosystem stability: a synthesis of underlying mechanisms. *Ecology letters*, 106-115.
- Louis Bolk Instituut. (sd). *Bodemchemie*. Opgeroepen op September 18, 2021, van Natuurinclusieve landbouw: <https://www.natuurinclusief.info/bodems/bodemchemie/>
- Louis Bolk Instituut. (sd). *Mengteelten in de Nederlandse akkerbouw*. Opgeroepen op September 26, 2021, van Louis Bolk Instituut: <https://www.louisbolk.nl/projecten/mengteelten-de-nederlandse-akkerbouw>
- Luske, B., Deru, J., Wösten, H., Faber, J., & van Eekeren, N. (2012). *Beworteling van grasland en droogtetolerantie*. Louis bolk instituut.
- Mendes, L. W., Raaijmakers, J. M., de Hollander, M., Mendes, R., & Tsai, S. M. (2018). Influence of resistance breeding in common bean on rhizosphere microbiome composition and function. *The ISME journal*, 212-224.
- Michels, R. (2020). *Waterbeheer en de Landbouw nader beschouwd*. Wageningen: Wageningen Economic Research.
- Milcu, A., Partsch, S., Langel, R., & Scheu, S. (2006). The response of decomposers (earthworms, springtails and microorganisms) to variations in species and functional group diversity of plants. *Oikos*, 513-524.
- Minghui, L., Junli, H., & Xiangui, L. (2021). The roles and performance of arbuscular mycorrhizal fungi in intercropping systems. *Soil Ecology Letters*, 167-168.
- Mommer, L., Cotton, A. T., Raaijmakers, J. M., Termorhuizen, A. J., van Ruijven, J., Hendriks, M., . . . Smit-Tiekstra, A. E. (2018). Lost in diversity: the interactions between soil-borne fungi, biodiversity and plant productivity. *New phytologist*, 542-553.

- Mommer, L., van Ruijven, J., de Caluwe, H., Smit-Tiekstra, A. E., Wagemaker, C. A., Ouborg, N. J., . . . de Kroon, H. (2010). Unveiling below-ground species abundance in a biodiversity experiment: a test of vertical niche differentiation among grassland species. *Journal of ecology*, 1117-1127.
- Montesinos-Navarro, A., Verdú, M., Querejata, J. I., Sertibrán, L., & Valiente-Banuet, A. (2016). Soil fungi promote nitrogen transfer among plants involved in long-lasting facilitative interactions. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 45-51.
- Mueller, K. E., Tilman, D., Fornara, D. A., & Hobbie, S. E. (2013). Root depth distribution and the diversity-productivity relationship in a long-term grassland experiment. *Ecology*, 787-793.
- Neher, D. A. (2010). Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soil. *Annual review of phytopathology*, 371-394.
- Norén, I. S., & Dawson, A. (2019). *Inspiratie voor een biodiverse akkerbouw*. Wageningen: Wageningen University & Research.
- PBL. (2010). *Bijdrage GLB aan beleidsdoelen milieu, natuur en landschap*. Den Haag/Bildhoven: Planbureau voor de Leefomgeving. Opgehaald van <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/500136002.pdf>
- PBL. (2014). *Gewasbescherming is duurzamen geworden, maar normen worden nog regelmatig overschreden*. Opgeroepen op April 27, 2021, van Planbureau voor de leefomgeving: [https://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/jaargang-2014/voedsel-en-landbouw/gewasbescherming-en-milieu#:~:text=Milieubelasting%20door%20gewasbeschermingsmiddelen%20is%20flink,gedaald%20\(PBL%2C%202012\)](https://themasites.pbl.nl/balansvandeleeftomgeving/jaargang-2014/voedsel-en-landbouw/gewasbescherming-en-milieu#:~:text=Milieubelasting%20door%20gewasbeschermingsmiddelen%20is%20flink,gedaald%20(PBL%2C%202012))
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & van der Putten, W. H. (2013). Goin back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature reviews microbiology*, 789-799.
- Prins, U., & van Krimpen, M. (2007). *Peulvruchten voor krachtvoer*. Driebergen: Louis Bolk Instituut.
- Prins, U., & van Krimpen, M. (2007). *Peulvruchten voor krachtvoer*. Driebergen: Louis Bolk instituut.
- Qiao, X., Bei, S., Li, H., Christie, P., Zhang, F., & Zang, J. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to overyielding by enhancing crop biomass while suppressing weed biomass in intercropping systems. *Plant and soil*, 173-185.
- Rabobank. (2021, Maart 22). *Peulvruchten in Nederland:kansen, maar nog niet klaar voor comeback*. Opgehaald van Rabobank: <https://www.rabobank.nl/kennis/d011129305-peulvruchten-in-nederland-kansen-maar-nog-niet-klaar-voor-comeback>
- Ravenek, J. M., Bessler, H., Engels, C., Scherer-Lorenzen, M., Glessner, A., Gockele, A., . . . Mommer, L. (2014). Long-term study of root biomass in a biodiversity experiment reveals shifts in diversity effect over time. *Oikos*, 1528-1536.
- Reich, P. B., Eisenhauer, N., & Scheu, S. (2012). Increasing plant diversity effects on productivity with time due to delayed soil biota effects on plants. *Basic and applied ecology*, 571-578.
- Remix-intercrops. (sd). *Publications*. Opgeroepen op Oktober 14, 2021, van Remix-intercrops: <https://www.remix-intercrops.eu/Downloads/Publications>
- Results. (2021, Septemeber 8). Opgehaald van Symbiose-interreg: <https://symbiose-interreg.eu/resultaten-resultats/>
- RVO. (sd). *Tabel 1 Stikstof gebruiksnormen*. Opgeroepen op Oktober 22, 2021, van Rijksdienst voor ondernemend Nederland: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/03/Tabel-1-Stikstofgebruiksnormen-2018.pdf>
- Sauheitl, L., Glaser, B., Dippold, M., Leiber, K., & Weigelt, A. (2010). Amino acid fingerprint of a grassland soil reflects changes in plant species richness. *Plant and soil*, 353-363.
- Schamans, O., Willems, J., & van Duinhoven, G. (2008). *30 Vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu*. Wageningen: Alterra.
- Schlatter, D. C., Bakker, M. G., Bradeen, J. M., & Kinkel, L. L. (2015). Plant community richness and microbial interactions structure bacterial communities in soil. *Ecologie*, 134-142.
- Schreber, C., Eisenhauer, N., Weisser, W. W., Schmid, B., Voigt, W., Fischer, M., . . . Tscharnkte, T. (2010). Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. *Nature*, 553-556.

- Smith, S. E., Facelli, E., Pope, S., & Smith, A. F. (2010). Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and soil*, 3-20.
- Smith, S., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. London: Academic press.
- Sparling, G. (1985). *Soil organic matter and biological activity*. Dordrecht: Springer.
- Spehn, E. M., Joshi, J., Schmid, B., Alphei, J., & Körner, C. (2000). Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and soil*, 217-230.
- Steen-Jensen, E., Carlsson, G., & Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agronomy for sustainable development*.
- Tönjes, J. (2021). Efficiënte stikstofbenutting in mengteelt met vlinderbloemige. *Akkerwijzer*.
- Töntjes, J. (2017, November 14). Opgehaald van <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2017/11/14/microbioom-is-geen-wondermiddel>
- van der Heijden, M. G., & Horton, T. R. (2009). Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of ecology*, 1339-1150.
- van Zuilichem, J. (2006). *Diversiteit voor stabiliteit*. Wageningen: Praktijkonderzoek plant & omgeving.
- Velthof, G., Koeijer, T., Schröder, J., Timmerman, M., Hooijboer, A., Rozemeijer, J., & Groenendijk, P. (2017). *Effecten van het mestbeleid op landbouw en milieu*. Wageningen: Wageningen Environmental Research.
- Verstand, D., van der Voort, M., & Vijn, M. (2020). *Uitwerking boerderijvarianten op economie en broeikasgasemissies*. Wageningen: Wageningen University & Research.
- Verstegen, J. (2018). *Hoe verduurzamen we onze landbouw? En welke rol hebben ondernemers en de overheid*. Wageningen: Wageningen Economic Research.
- Walder, F., Niemann, H., Natarajan, M., Lehmann, M. F., Boller, T., & Wiemken, A. (2012). Mycorrhizal Networks: Common goods of plants shared under unequal terms of trade. *Plant physiology*, 789-797.
- White, P. J., George, T. S., Gregory, P. J., Bengough, A. G., Halles, P. D., & McKenzie, B. M. (2013). Matching roots to their environment. *Annals of botany*, 207-222.
- Wilschut, R. A., & Geisen, S. (2021). Nematodes as drivers of plant performance in natural systems. *Trends in plant science*, 237-247.
- WUR. (2016, Februari 24). *Hoe plantenwortels en schimmels verstoppertje spelen*. Opgehaald van Wageningen University & Research: <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Hoe-plantenwortels-en-schimmels-verstoppertje-spelen.htm>
- Xiao, Y., Li, L., & Zhang, F. (2004). Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and fababean using direct and indirect N techniques. *Plant and soil*, 45-54.
- Zachmann, J., Munz, S., Vezy, R., & Lund, S. (2020, April 19). *Must sowing density of intercropping be half of the two sole crops density for providing good performance?* Opgehaald van ReMIX: <https://www.remix-intercrops.eu/content/download/4087/38973/version/1/file/%234%20Must%20sowing%20density%20of%20intercropping%20be%20half%20of%20the%20two%20sole%20crops%20density%20for%20providing%20good%20performance.pdf>
- Zak, D. R., Holmes, W. E., White, D. C., Peacock, A. D., & Tilman, D. (2003). Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology*, 2042-2050.
- Zhang, F., Shen, J., Zhang, J., Zuo, Y., Li, L., & Chen, X. (2010). Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity: implications for China. *Advances in agronomy*, 1-32.