

Effecten van agroforestry op de waterhuishouding en functionele agro biodiversiteit

Verkenning naar de effecten van agroforestry op de waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit. Met extra aandacht voor de Zeeuwse context en de mogelijke voor- en nadelen die dit kan bieden voor de Zeeuwse akkerbouw.

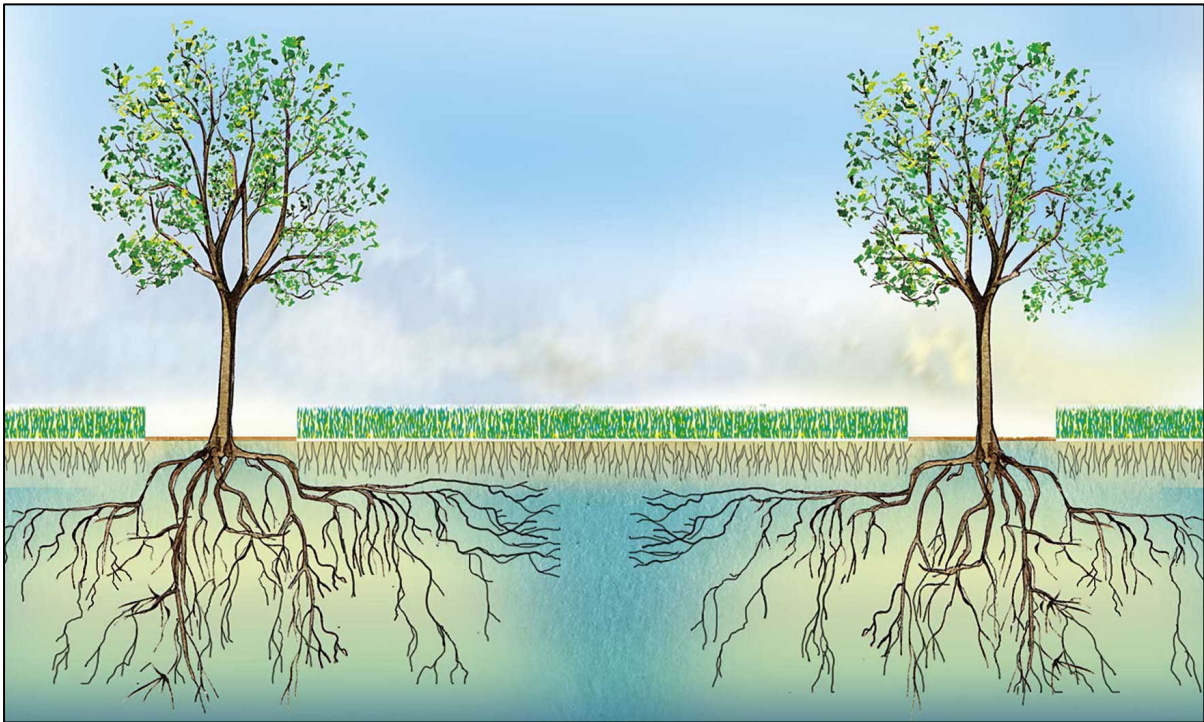
Auteurs | Lennart Fuchs & Sanne van Leeuwen

WPR-OT 961



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effecten van agroforestry op de waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit



Verkenning naar de effecten van agroforestry op de waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit. Met extra aandacht voor de Zeeuwse context en de mogelijke voor- en nadelen die dit kan bieden voor de Zeeuwse akkerbouw.

Auteurs: Lennart Fuchs¹, Sanne van Leeuwen¹

¹ Wageningen University & Research

Met medewerking van: Isabella Selin Norén¹, Maureen Schoutsen¹, Wijnand Sukkel¹, Bert Heusinkveld¹, Geert Kessel¹, Herman Helsen¹, Rien van der Maas¹

Dit onderzoek is in opdracht van de Provincie Zeeland uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten.

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

Lelystad, december 2022

Rapport WPR-OT 961

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/580955>

Samenvatting: In deze verkenning zijn de effecten van agroforestry op waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit onderzocht op basis van beschikbare kennis en toegespitst op de Zeeuwse context. Hieruit blijkt dat agroforestry voor beide thema's potentie biedt om hier positief aan bij te dragen, al zal veel afhangen van het ontwerp en de lokale context. Agroforestry kan extreme weersomstandigheden als droogte en piekbuien enigszins bufferen, en kan nutriëntenuitspoeling naar oppervlakte en grondwater reduceren. Ook verhoogt het de diversiteit in het systeem, wat positieve gevolgen kan hebben voor de functionele agrobiodiversiteit in de vorm van natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving. Al met al biedt het dus kansen op deze thema's, maar zal met alleen implementatie van agroforestry de bestaande problematiek niet geheel verholpen worden. Wel kan het onderdeel zijn van een oplossingsrichting voor de verschillende opgaven waar ook de Zeeuwse landbouw mee te maken heeft, waarbij een integrale aanpak cruciaal is.

Trefwoorden: Agrobiodiversiteit, Agroforestry, Droogte, Functionele agrobiodiversiteit (FAB), Microklimaat, Waterhuishouding, Zeeland

© 2022 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 961

Foto omslag: Dupraz & Liagre. 2008 (<https://arbrisseau.projet-agroforesterie.net/eau.html>)

Deze verkenning is onderdeel van een serie van 3 verkenningen voor de Provincie Zeeland binnen de PPS Agroforestry (2019-2022). Eerder zijn eerder verschenen:

- Verkenning naar de potentie van agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de provincie Zeeland: <https://edepot.wur.nl/568426>
- Agroforestry in het Zeeuwse Landschap (gerelateerd aan Zeeuwse Bosvisie): <https://edepot.wur.nl/567384>

Ook zijn er eerder aan dit onderwerp gerelateerde factsheets verschenen:

- Factsheet Agroforestry 2: Biodiversiteit vergroten, hoe doe ik dat? <https://edepot.wur.nl/495298>
- Factsheet Agroforestry 3: Hoe kan agroforestry bijdragen aan klimaatadaptatie van de landbouw? <https://edepot.wur.nl/580732>

Meer info over agroforestry, factsheets en filmpjes zijn te vinden op wur.nl/agroforestry

Inhoud

Samenvatting	5
English summary	7
1 Inleiding	9
1.1 Wat is agroforestry?	9
1.2 Wat zijn potentiële voor- en nadelen van agroforestry?	9
1.3 Waarom een verkenning naar waterhuishouding & functionele agrobiodiversiteit?	10
1.4 Werkwijze	10
2 Waterhuishouding	12
2.1 Hoe kan een agroforestry-systeem de waterhuishouding beïnvloeden?	12
2.2 Effecten op waterbeschikbaarheid en waterberging	12
2.2.1 Het microklimaat en het effect op gewasverdamping	12
2.2.2 Concurrentie tussen bomen en gewassen	15
2.2.3 Waterverbruik en verdamping op systeemniveau	17
2.2.4 Effecten op waterinfiltratie en waterbergend vermogen	17
2.3 Effecten op waterkwaliteit	19
2.3.1 Effect op nutriëntenuitspoeling	19
2.3.2 Afspoeling en oppervlaktewater kwaliteit	20
2.3.3 Effecten op verzilting	20
2.4 Conclusies en opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse omstandigheden	21
2.4.1 Waterbeschikbaarheid	21
2.4.2 Waterkwaliteit	21
2.4.3 Opmerkingen t.a.v. Zeeuwse omstandigheden	21
3 Functionele agrobiodiversiteit	23
3.1 Wat is functionele agrobiodiversiteit?	24
3.2 Hoe kan agroforestry de functionele agrobiodiversiteit beïnvloeden?	25
3.3 Effecten op natuurlijke plaagbestrijding	27
3.3.1 Aanwezigheid natuurlijke plaagbestrijders in akkerbouwgewassen	27
3.3.2 Natuurlijke plaagbestrijding in fruitbomen	29
3.4 Effecten op bestuiving	30
3.4.1 Aanwezigheid bestuivers in éénjarige gewassen	30
3.4.2 Bestuiving in fruitbomen	30
3.5 Conclusies en opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse omstandigheden	32
3.5.1 Functionele agrobiodiversiteit in agroforestry-systemen	32
3.5.2 Opmerkingen t.a.v. de Zeeuwse omstandigheden	32
4 Conclusies	34
Literatuur	35

Samenvatting

Deze verkenning duidt de effecten van agroforestry op de waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit, waar mogelijk toegespitst op de Zeeuwse context. Hierbij is de focus gelegd op silvoarable agroforestry, boomstroken in combinatie met akkerbouw. Voor deze studie is zowel wetenschappelijke literatuur gebruikt, als ook projectrapporten en verslagen, bij voorkeur uit noordwest Europa, maar indien relevant in enkele gevallen ook daarbuiten.

Onderzoek naar de effecten van agroforestry op waterhuishouding is interessant, omdat zowel de waterkwantiteit (droogte en piekbuien) als de waterkwaliteit erg actuele thema's zijn in Nederland, en zeker ook in Zeeland. In de Nederlandse en Zeeuwse context is al langer onderzoek gedaan naar functionele agrobiodiversiteit, voornamelijk met akkerranden. De focus ligt daarbij vaak op natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving en dat geldt ook voor deze verkenning. De mate waarin agroforestry aan deze twee ecosysteemdiensten zou kunnen bijdragen is in deze verkenning verder onderzocht.

Wat betreft waterhuishouding, toont deze verkenning aan dat agroforestry potentie heeft om akkerbouw systemen weerbaarder te maken tegen extreem weer in de vorm van droogte of grote hoeveelheden neerslag. Boomstroken zorgen voor een afname van windsnelheid over de gewassen tot 20 à 30 keer de boomhoogte, wat kan bijdragen aan een lagere verdamping in gewassen en daarmee water kan besparen. Dit voordeel van agroforestry is zeker in Zeeland met veel open polders interessant. Wel moet rekening gehouden worden met het risico op een toenemende schimmeldruk in natte jaren ten gevolge van een vochtiger microklimaat. Naast waterbesparing, kunnen bomen zorgen voor concurrentie op water (en licht) met het gewas, voornamelijk in de eerste meters naast de boomstrook. Om het waterbesparende voordeel voor gewassen te optimaliseren kan bij het ontwerp rekening worden gehouden met de concurrentie door de boomstroken niet te dicht op elkaar te planten. Het is de moeite waard om te onderzoeken hoe de concurrentie tussen bomen en gewas effectief gereduceerd kan worden, bijvoorbeeld via wortelsnoei van de bomen. Daarnaast bieden boomstroken de mogelijkheid om waterinfiltratie en berging te verbeteren, door een permanent en uitgebreid wortelsysteem en (op termijn) een verhoogd gehalte organische stof, wat de bodemstructuur kan verbeteren en daarmee de infiltratiecapaciteit kan verhogen. De effecten hiervan zullen afhangen van boomedichtheid en boomsoort.

Qua waterkwaliteit biedt agroforestry mogelijkheden om nutriënten uit diepere lagen op te nemen en daarmee uitspoeling en afspoeling te verminderen. Voornamelijk omdat houtige gewassen permanent en dieper wortelen dan éénjarige gewassen. Het effect op nutriëntenuitspoeling- en afspoeling zal afhangen van het ontwerp van het agroforestry-systeem, waarbij een grotere dichtheid van houtige gewassen hier een voordeel op kan leveren. Daarnaast zullen boomsoorten die dieper en uitgebreider wortelen dit effect ook versterken. De effecten van agroforestry op de verziltingsproblematiek lijken beperkt. Verminderde gewasverdamping en betere infiltratie kunnen mogelijk enige verlichting bieden, maar dit is nog niet/nergens specifiek onderzocht.

Kijkend naar functionele agrobiodiversiteit, biedt agroforestry mogelijkheden om de effecten hiervan te verhogen, doordat de toevoeging van bomen of struiken meer diversiteit in habitat, voedselbronnen en schuilplaatsen in het systeem brengen. Zo bieden boomstroken kansen voor een betere overleving en overwintering van natuurlijke vijanden en een betere voorziening van pollen en nectar voor wilde bestuivers. In het agroforestry ontwerp zijn veel keuzes te maken om deze mogelijkheden optimaal te benutten. Zo lijkt de ondergroei in boomstroken een grote rol te spelen en biedt de keuze voor een gevarieerd aantal (inheemse) soorten de meeste kansen voor functionele agrobiodiversiteit. Door hier tijdens het ontwerp aandacht voor te hebben, kan de werking van functionele agrobiodiversiteit vergroot worden. Wel blijkt uit deze verkenning dat ook de effecten op natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving erg context afhankelijk zijn en moeilijk te kwantificeren en veralgemeniseren zijn. Het hangt onder andere af van de soorten in de boomstrook, de geteelde gewassen, de voorkomende plagen, het bedrijfsmanagement en het omringende landschap. Dit betekent ook dat toename van functionele agrobiodiversiteit niet één op één te vertalen is naar afname van ziekte- en plaagdruk of toename van gewasopbrengst.

Voor zowel waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit en functionele agrobiodiversiteit zal agroforestry niet 'het pasklare antwoord' zijn om alle problematiek hieromtrent te verhelpen. Hetzelfde geldt voor thema's als algemene biodiversiteit, koolstofopslag, ammoniak depositie, erosie en bodemkwaliteit. Wel tonen deze

verkenning en eerdere studies aan dat de toepassing van boomstroken op al deze vlakken kansen biedt om een positieve bijdrage te leveren en daarmee onderdeel te zijn van de oplossingsrichting. Benadrukt moet worden dat de effecten sterk afhankelijk zijn van hoe het agroforestry-systeem ingericht wordt, wat de lokale context is en waar de focus op gelegd wordt bij het ontwerp. Deze verkenning biedt handvatten om hiermee aan de slag te gaan. Voor de Zeeuwse context zou het interessant zijn om de in deze verkenning behandelde effecten verder te onderzoeken binnen een onderzoeksopzet en/of bij Zeeuwse ondernemers die agroforestry binnen hun bedrijf willen introduceren.

English summary

This study explores the effects of agroforestry on water management and functional agrobiodiversity, with special focus on the context of the Province of Zeeland where possible. The study's focus was on silvoarable agroforestry, the combination of woody crops with arable agriculture. For this study, scientific literature was used as well as project reports and other grey literature, ideally from North-western Europe, but where relevant studies from other climate zones were also included.

Research on the effects of agroforestry on water management is becoming more important as the water quantity (drought and peak precipitation) as well as the water quality are highly topical within The Netherlands, and certainly so for the Province of Zeeland. In the Dutch and Zeeland context, research on functional agrobiodiversity has been running for some time, with the main focus on field borders. Biological control of pests and pollination are the topics which are studied in depth. The role and effects of agroforestry on those two ecosystem services are further examined in this study.

Concerning water management, this study shows that agroforestry has potential to make arable cropping systems more resilient against extreme weather conditions, being droughts or peak precipitation. Tree alleys reduce the windspeed over the main crops up to a distance of 20 to 30 times the tree height, which can contribute to a lower crop evaporation and thereby save water. This advantage can be very interesting, certainly in the Province of Zeeland, with many open areas. On the other hand a possible rise in fungal diseases due to a more moist microclimate should be considered as a risk. Besides the advantage of reduced water loss, trees do compete with crops for water (and light), mainly in the first meters next to the tree alley. The water saving potential for the arable crops can be optimised through the design of the agroforestry system by not planting the tree alleys too close to each other. It would be interesting to further investigate how this competition between trees and crops can be reduced, for example by root pruning of trees. Tree alleys also have the potential to improve the water infiltration and storage capacity of water in the soil. Through their permanent, extensive root system and the increase of organic matter tree alleys will improve the soil structure and thereby increase the infiltration capacity of the soil. The extent of these effects will depend on the tree density and tree species.

Regarding water quality, agroforestry shows potential access nutrients from deeper soil layers and thereby reducing the risks of nutrient leaching and run-off. This is mainly because woody crops root deeper and more permanent than annual crops. The effect on nutrient leaching and run-off will depend on the design of the agroforestry system, with a higher tree density giving a higher advantage. Tree species with a deeper and more extensive rooting system will show a larger potential towards this effect. The benefits of agroforestry regarding the reduction of salinisation problems seem limited. Reduced crop evaporation and improved water infiltration may offer some relieve, but this effect has not specifically been studied so far.

Concerning functional agrobiodiversity, agroforestry shows potential to increase this ecosystem service. The addition of trees or shrubs increases the diversity in habitat, food sources and shelter in the agroecosystem. In this way, tree alleys provide higher chances of survival and overwintering of natural enemies and a better provision of pollen and nectar for wild pollinators. In the design of an agroforestry system, many choices can be made to optimise this potential. The understory in tree alleys plays an important role, as well as the choice of (a variation of native) species. The effects of functional agrobiodiversity can be enlarged by taking these aspects into account when designing an agroforestry system. In general, this study shows that the effects on biological control and pollination are very context dependent and are difficult to quantify and generalise. Important factors in this regard are: the choice of species in the tree alley, the types of cultivated arable crops, the occurring pests, the general farm management and the surrounding landscape. As a result, an increase in functional agrobiodiversity (by agroforestry) does not necessarily mean that a reduction of pest or disease pressure or an increased crop production can be achieved.

Agroforestry is not the panacea which will solve the challenges concerned with water availability, water quality and functional agrobiodiversity. The same goes for other issues such as generic biodiversity, carbon storage, ammonia deposition, soil erosion and soil quality. However, this study and earlier studies have shown that the implementation of tree alleys in crop cultivation shows potential to make a positive contribution towards the

solving of all these challenges. It must be emphasized that the ultimate effects are strongly dependent on the design and focus of the agroforestry system, as well as on the local context.

This explorative study indicates which potential effects of agroforestry should be further researched in depth. In the context of the Province of Zeeland it would be interesting to further investigate the effects described in this study within a research set-up and/or in experiments with farmers in Zeeland who are interested in introducing agroforestry on their farms.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De landbouw staat voor een grote transitie. De Provincie Zeeland ziet de ontwikkeling van agroforestry als een van de mogelijke oplossingen in de aanpak van de opgaven waar de maatschappij voor staat en waaraan de landbouw zou kunnen bijdragen. Daarbij valt te denken aan de klimaatopgave, de aanpak stikstofreductie en het herstel van de biodiversiteit in het landelijk gebied. In dit deelonderzoek wordt speciaal gekeken naar de effecten van agroforestry die gunstig kunnen zijn voor teelten in de Zeeuwse akkerbouw. Met name is onderzocht wat de potentie is van agroforestry op het gebied van functionele agrobiodiversiteit en voor de waterhuishouding.

1.2 Wat is agroforestry?

De Provincie Zeeland definieert agroforestry als volgt: "Agroforestry is een vorm van landbouw waarin houtige aanplant en akkerbouwgewassen of veehouderij worden gecombineerd voor een duurzamer teeltsysteem."

In de Nederlandse context wordt de term agroforestry (ook wel aangeduid als boslandbouw) veelal gebruikt om professionele, potentieel gemechaniseerde, (in potentie grootschalige) strokenteelten met lanen van meerjarige gewassen (in lage boomedichtheden) te duiden. Dit kan gaan om lanen van houtige gewassen met stroken grasland voor vee of om lanen van houtige gewassen met stroken akkerbouw- of tuinbouwgewassen. Dit komt overeen met de internationale termen silvoarable (akkerbouw) en silvopastorale (veehouderij).

Aangezien het agrarisch landgebruik in Zeeland voornamelijk akkerbouw betreft, zal de focus van deze verkenning liggen op agroforestry-systemen in combinatie met akkerbouw (silvoarable). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de boomstroken, bestaand uit één of meerdere rijen houtige gewassen (bomen/struiken) en ondergroei, en gewasstroken, waar de éénjarige akkerbouwgewassen geteeld worden.

In deze verkenning worden 'lanen van houtige gewassen' in het algemeen aangeduid met de term 'boomstroken'. In essentie hoeven deze stroken niet per se uit bomen te bestaan, maar kunnen ook struiken en hagen deze strook vormen. De beschikbare en geraadpleegde kennis en literatuur gaat echter vooral over agroforestry-systemen met bomen.

1.3 Wat zijn potentiële voor- en nadelen van agroforestry?

De voor- en nadelen van agroforestry hangen af van hoe het systeem(ontwerp) eruitziet. Hieronder zijn een aantal potentiële voordelen en nadelen van agroforestry opgesomd.

Potentiële voordelen van agroforestry:

- Betere (totale) benutting van nutriënten, water en licht
- Hogere totale (biomassa)productie dan een monocultuur akkerbouw, grasland, of houtig gewas
- Betere bodemstructuur door permanente doorworteling
- Minder (wind en water) erosie
- Waterzuiverende en -regulerende effecten
- Buffering tegen extreem weer (klimaatadaptatie)
- Koolstofvastlegging in bodem en hout (klimaatmitigatie)
- Hogere (boven- en ondergrondse) biodiversiteit
- Verbeterde bestuiving (toenemend aantal en diversiteit van bestuivers)
- Lagere ziekte- en plaagdruk (verminderd gebruik gewasbeschermingsmiddelen)

-
- Landschapsverfraaiing
 - Spreiding van inkomsten voor de agrarisch ondernemer (economische weerbaarheid)

Mogelijke nadelen:

- Extra expertise nodig
- Ingewikkeld met huidige mechanisatie
- Hoge investeringskosten, maar pas na meerdere jaren een (onzeker) rendement
- Concurrentie voor licht, water en nutriënten tussen boom en gewas (op korte afstand van boomstrook)
- Negatieve effecten van beschutting/microklimaat (bijv. schimmelvorming)
- Mogelijke verontreinigingen in akkerbouwproduct (bijv. blad, noten (allergie))

1.4 Waarom een verkenning naar waterhuishouding & functionele agrobiodiversiteit?

In overleg met de Provincie Zeeland is besloten om deze verkenning te richten op de effecten van agroforestry op de ecosysteemdiensten waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit. Deze keus is gemaakt zowel vanwege de (hoge) verwachtingen van agroforestry als oplossingsrichting voor deze thema's als vanwege de relevantie van deze thema's voor Provincie Zeeland. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

Waterhuishouding

Effecten op de waterhuishouding zijn, zeker gezien het extremer wordende klimaat, erg relevant. In recente jaren zien we steeds vaker droge voorjaren en zomers met beperkte neerslaghoeveelheden, wat zomaar het 'nieuwe normaal' kan gaan worden. Hierdoor komt de watervoorziening onder druk te staan en kan er schade ontstaan aan de akkerbouwgewassen. Zeker in Zeeland waar lang niet overal beregend kan worden wegens de beperkte beschikbaarheid van zoet water, is dit een grote uitdaging. Tegelijkertijd vinden er vaker extreme piekbuien plaats met grote hoeveelheden neerslag, wat tot wateroverlast kan leiden op de akkers.

Bomenrijen en hagen hebben de potentie om de wind af te remmen, met een gunstiger microklimaat en lagere verdamping tot gevolg, wat water zou kunnen besparen ten tijde van droogte. Aan de andere kant verdampen die bomen en struiken zelf ook water, wat tot concurrentie met het eenjarige gewas kan leiden. Daarnaast kunnen boomwortels de bodemstructuur en infiltratiecapaciteit verbeteren, maar kunnen ze ook drainagebuizen verstoppen.

In deze notitie is gepoogd een eenduidiger beeld te geven over deze effecten, met als belangrijkste vraag: Hoe verhoudt de waterhuishouding van een agroforestry-systeem zich tot een monocultuur akkerbouw? Vervolgens is ingegaan op de relevantie van deze uitkomsten op de landbouw in de provincie Zeeland.

Functionele agrobiodiversiteit

Agroforestry verhoogt de diversiteit in een systeem in vergelijking met een monocultuur. De vraag is in hoeverre dit kan leiden tot een grotere functionele agrobiodiversiteit met positieve effecten op de gewassen, zoals natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving. Indien er meer natuurlijke plaagbestrijding plaats vindt, kan dit de gewaskwaliteit verbeteren en is er potentieel een lagere inzet van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen nodig. Het gebruik van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen staat maatschappelijk onder druk. In de Europese *Farm to Fork* strategie is het doel opgenomen om het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen met 50% te verminderen in 2030.

In deze notitie is onderzocht welke effecten van agroforestry op functionele agrobiodiversiteit tot nu toe bekend zijn en wat de relevantie hiervan kan zijn voor de Zeeuwse landbouw.

1.5 Werkwijze

De focus van deze verkenning ligt op de landbouwkundige voor- en nadelen rondom waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit, maar benoemt ook maatschappelijke effecten van agroforestry waar dit relevant is.

Voor deze verkenning is gebruik gemaakt van de huidige beschikbare literatuur, projectrapporten en praktijkvoorbeelden, maar ook van kennis uit eigen netwerken. De voorkeur lag bij data uit Nederland of Vlaanderen, maar waar van toepassing is data uit andere omliggende landen of landen met andere (extremere) klimaten meegenomen.

2 Waterhuishouding

“De beschikbaarheid van zoet water staat onder druk. Periodes van heftige regenval en extreme droogte wisselen elkaar steeds vaker af. Het water is er niet altijd op het moment dat je het nodig hebt. En dat is een probleem: als er niet genoeg zoet water is, komen gewassen niet op en kan de volledige oogst mislukken. Ook natuurgebieden hebben zoet water nodig. Broedgebieden werken minder goed als het te droog is en er is kans op natuurbranden.”

Uit: [Zeeuws Deltaplan Zoet Water](#)

In dit hoofdstuk wordt duiding gegeven aan de mogelijke effecten van agroforestry op de waterhuishouding en welke aspecten hierbij een rol spelen. Het onderwerp waterhuishouding wordt in dit kader uitgesplitst naar waterbeschikbaarheid (2.2) en waterkwaliteit (2.3). Bij waterbeschikbaarheid is gekeken naar het waterverbruik door gewassen en bomen en het vermogen van het systeem om water vast te houden. Bij waterkwaliteit zijn de nutriëntenuitspoeling binnen een teeltsysteem en de effecten op verzilting bestudeerd. Alleen de relevante aspecten waar agroforestry-systemen invloed op kunnen hebben zijn in deze verkenning meegenomen. In 2.4 volgen de conclusies en de opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse context.

2.1 Hoe kan een agroforestry-systeem de waterhuishouding beïnvloeden?

Een boomstrook binnen een agroforestry-systeem kan op verschillende manieren invloed hebben op de waterhuishouding van een landbouwperceel.

Ten eerste gaat het over de **fysieke barrière** die de boomstroken opwerpen en **het microklimaat** dat hierdoor ontstaat. Een boomstrook kan voor windbreking zorgen en in de eerste meters schaduw veroorzaken, wat beide invloed heeft op het microklimaat. Denk hierbij aan de windsnelheid en temperatuur, die medebepalend zijn voor de (gewas)verdamping.

Ten tweede hebben de boomstroken effect via de **wateropname en verdamping door bomen/struiken**. De verdamping van gewassen kan beïnvloed worden door de boomstroken, maar de aanwezige bomen of struiken nemen zelf ook water op en verdampen. Dit kan concurreren met de gewassen, hoewel bomen in veel gevallen water uit diepere bodemlagen gebruiken. Daarbij kunnen ook nutriënten uit diepere lagen opgenomen worden.

Ten derde hebben de boomstroken een effect op **wateropvang en -afvoer** via zowel de bovengrondse boomkroon als het wortelsysteem. Om en nabij de boomstrook zal er wat regen afgevangen worden, waardoor dit langzamer en geleidelijk de bodem bereikt. Daarnaast kunnen de verbeterde bodemkwaliteit en boomwortels rondom de bomenrij zorgen voor een sterke toename aan poriën in de bodem waardoor regenwater makkelijker infiltreert.

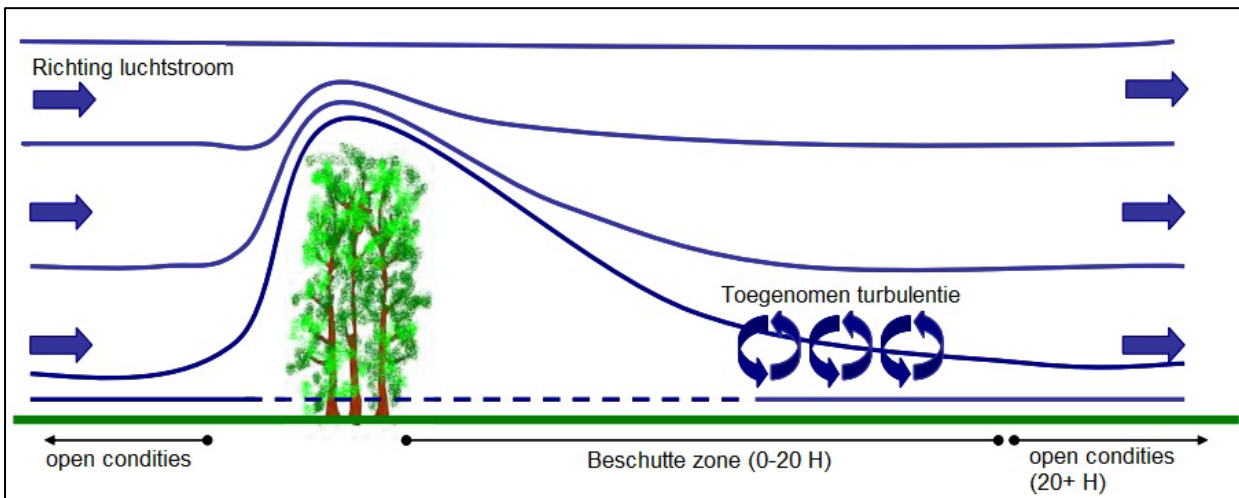
2.2 Effecten op waterbeschikbaarheid en waterberging

2.2.1 Het microklimaat en het effect op gewasverdamping

Boomstroken hebben via het breken van de wind en schaduwwerking een effect op het microklimaat. In een agroforestry-systeem met meerdere boomstroken zal zich tussen deze boomstroken een ander microklimaat vormen dan in een monocultuur. Dit is merkbaar aan veranderingen van o.a. windsnelheid, temperatuur en luchtvochtigheid.

Effect en inrichting van een boomstrook

In Figuur 1 is het effect van een boomstrook op de luchtstroom simpel weergegeven. De schaduwwerking van bomen/hagen zal vooral in de zone dicht bij de boomstrook een effect hebben, maar het effect op de windsnelheid kan een stuk verder reiken. Het precieze effect hangt af van specifieke omstandigheden en inrichting van de boomstrook, maar over het algemeen wordt uitgegaan van een effect dat reikt tot 20 à 30 keer de boomhoogte, al zal het effect wel afnemen met een grotere afstand tot de bomenrij (Jacobs et al. 2022; Wertheim. 1990). Zelfs aan de kant waar de wind vandaan komt zal de boomstrook zorgen voor windreductie, al reikt dit minder ver. Voor windremming moet rekening gehouden worden met de porositeit (doorlaatbaarheid) van een windhaag. Een hele dichte boomstrook zorgt voor minder wind remmend effect en kan leiden tot turbulentie achter de boomstrook, met risico op gewasschade. Bij een wat meer open boomstrook zal de meest effectieve windremming optreden zonder grote risico's op turbulentie. In een internationale meta-analyse wordt een porositeit van 40-60% genoemd als meest optimaal (Jacobs et al. 2022), wat overeenkomt met Nederlandse kennis over windsingels in de fruitteelt (Wertheim. 1990). Daarnaast geeft een boomstrook die haaks staat op de meest voorkomende windrichting, in Nederland vaak zuidwest, de grootste windremming.



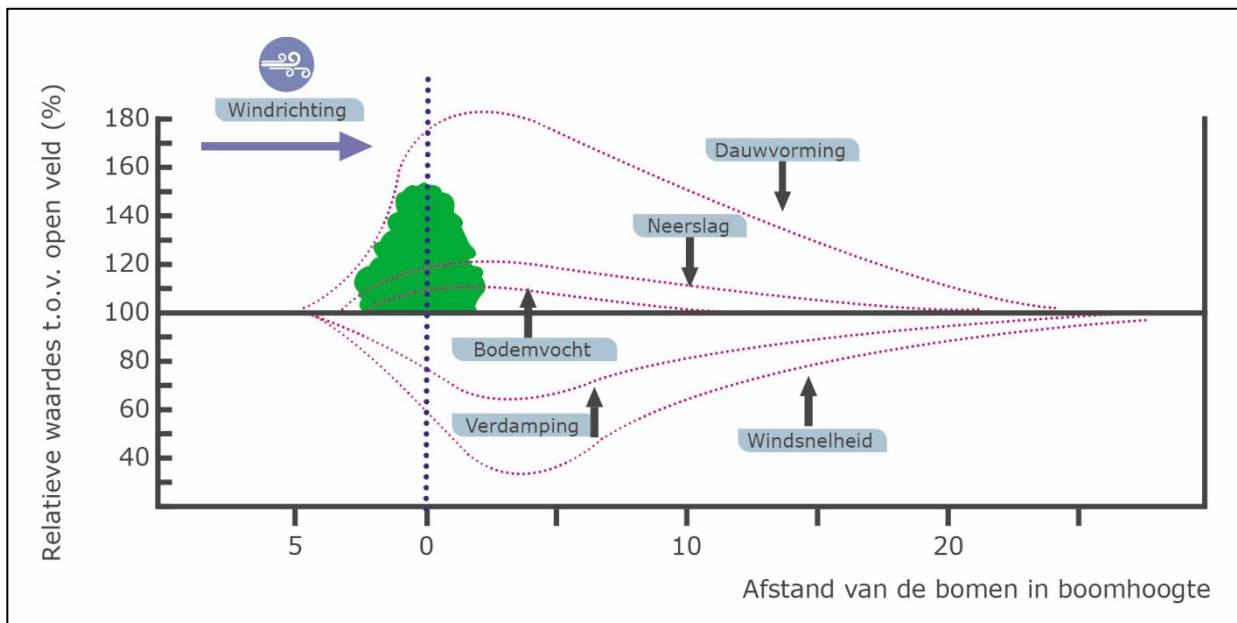
Figuur 1. Weergave van windbreking door een boomstrook en gevolgen voor de luchtstroom. H = boomhoogte. Aangepast en vertaald uit: Sudmeyer et al. 2007.

Windsnelheid

Een reductie van wind kan positief uitpakken op de waterbeschikbaarheid en verdamping. Figuur 2 laat zien dat er meerdere effecten mogelijk zijn, zoals meer dauwvorming en plaatselijke neerslag, maar ook een lagere verdamping.

Dat de windsnelheid een effect heeft op verdamping van gewassen is evident. Om de gewasverdamping (evapotranspiratie) te berekenen wordt de windsnelheid meegenomen als één van de variabelen, waarbij een hogere windsnelheid leidt tot een hogere verdamping (FAO. 1998). Dit komt doordat de luchtvochtigheid die rondom de planten wordt gecreëerd bij gewasverdamping, bij een hogere windsnelheid sneller afneemt, waardoor planten meer water verdampen om deze luchtvochtigheid in stand te houden. In een Duitse studie naar agroforestry-systemen door Kanzler et al. (2019) is een sterk lineair verband aangetoond tussen windsnelheid en verdamping, wat de bovenstaande theorie bevestigt.

Een bijkomend voordeel van windreductie is een verbeterde gewasgroei door verminderd risico op windschade, zoals legering van gewassen. Dit kan leiden tot oogstverliezen, maar ook de kans op gewasinfecties vergroten. Daarnaast kan het bewegen van gewassen in de wind zorgen voor 'mechanische stress' in planten, wat de plant ook energie kost, al is het concrete effect hiervan op akkerbouwgewassen in Nederland nog niet geheel duidelijk.



Figuur 2. Het microklimaat effect van een bomenrij of haag. Uit: [Factsheet Agroforestry 9: Klimaatadaptatie](#) (aangepast en vertaald uit: Leuschner & Ellenberg, 2017).

Temperatuur

Naast windsnelheid, speelt ook de temperatuur een rol bij gewasverdamping, waarbij een hogere temperatuur zorgt voor een hogere verdamping. De boomstroken van een agroforestry-systeem kunnen een effect hebben op de lucht- en bodemtemperatuur in de gewasstroken via windremming en schaduwwerking. Studies in Duitsland (Kanzler et al. 2019) en Hongarije (Vityi et al. 2017) hebben aangetoond dat de lucht- en bodemtemperatuur een minder sterke variatie vertonen in agroforestry-systemen vergeleken met monoculturen. In de onderzochte agroforestry-systemen werd in vergelijking met monoculturen een iets lagere temperatuur overdag en een iets hogere temperatuur in de nacht vastgesteld. De grootste verschillen werden gemeten tijdens de warmste dagen en droge perioden, waarbij temperatuurverschillen van zo'n 2 tot 4 °C gemeten zijn. Wel moet gezegd worden dat de grootste effecten in temperatuur gemeten worden binnen een afstand tot de boomstroken van 2x de boomhoogte, als gevolg van de sterke relatie met de schaduwwerking van de bomen. Bij oud onderzoek in de fruitteelt lijken windsingels om boomgaarden een wisselend effect te geven op de luchttemperatuur (Wertheim, 1990), maar mogelijk is dit niet helemaal vergelijkbaar met de toepassing van bomen in een akkerbouwsysteem. Al met al, betekent dit dat het effect op de temperatuur het sterkst is in agroforestry-systemen met smallere gewasstroken en dus minder afstand tussen de boomstroken. In dit soort systemen is het microklimaat effect op temperatuur dus het grootst, wat kan resulteren in een lagere gewasverdamping.

Concrete effecten op gewasverdamping

Het is moeilijk om een eenduidig antwoord te geven op de vraag hoe groot de effecten op verdamping zijn, want er zijn veel verschillende vormen van agroforestry mogelijk, waarin de windsnelheid en temperatuur anders beïnvloed worden. Daarnaast spelen de lokale omstandigheden een rol. In open gebieden met veel wind zal agroforestry een relatief groter effect hebben op de windsnelheid en dus verdamping, dan in gebieden met een coulissenlandschap.

In Nederland zijn nog geen studies bekend waarin gekeken is naar de effecten op windsnelheid en verdamping in agroforestry-systemen. In het buitenland zijn wel enkele studies gedaan, waarin agroforestry-systemen zijn vergeleken met monoculturen en waarbij in sommige gevallen een duidelijk lagere verdamping in de gewassen tussen bomenrijen is gemeten ten opzichte van een monocultuur gewas.

Met name in Midden- en Oost-Duitsland is het effect op verdamping in agroforestry-systemen onderzocht. Het landschap is hier relatief vlak en open, en de bodem betreft vooral zandige leemgrond. Dit deel van Duitsland is relatief droog en daar wordt agroforestry door sommigen gezien als maatregel om akkerbouw nog enigszins rendabel uit te blijven voeren, zonder enorme investeringen of veranderingen. Het gaat hier voornamelijk om systemen met korte-omloophout van populier, wilg of robinia. In dit soort systemen worden vaak meerdere

rijen van snelgroeïende bomen aangeplant die eens in de paar jaar (3 tot max 8 jaar) worden gekapt, waarbij het hout kan worden ingezet als brandstof voor energieproductie of bioraffinage.

In de Duitse studies was de verdamping in de gewasstroken 24 tot 46% lager in de agroforestry-systemen in vergelijking tot een open veld met monocultuur (Kanzler & Böhm. 2020; Kanzler et al. 2019; Majaura & Freese. 2021). Het ging hierbij om metingen op een aantal specifieke dagen in de zomerperiode. Kanzler et al (2019) toonde aan dat de gemeten windsnelheid een sterk lineair effect had op de gemeten verdamping. Het reduceren van windsnelheid door boomstroken kan dus een positief effect op verdamping hebben.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat agroforestry-systemen wel degelijk potentie hebben om de verdamping in gewassen significant te reduceren. Zeker nu er vaker sprake is van langere periodes met droogte in voorjaar en zomer kan agroforestry de waterefficiëntie van gewassen verhogen en een positief effect hebben op de gewasgroei. Door verminderde verdamping kan het beperkte water uit de bodem voor langere tijd opneembaar blijven voor de gewassen, wat de behoefte aan irrigatie kan verlagen. In geval van zeer lang aanhoudende droogte, bestaat de kans dat de eenjarige gewassen alsnog droogtestress ondervinden.

Voor de Nederlandse en Zeeuwse context zou vergelijkbaar onderzoek met fruit- of notenbomen in de boomstroken of andere landschapselementen gewenst zijn, om te kijken op welke schaal deze effecten in zo'n systeem kunnen optreden. De verwachting is dat de in 2020 bij WUR Open Teelten in Lelystad aangeplante agroforestry onderzoeksfaciliteit binnen enkele jaren resultaten zal opleveren over onder andere het effect op verdamping. Doordat dit experiment in een open poldergebied ligt en het (lichte) kleigrond betreft, is dit ook relevant voor de Zeeuwse context.

Hogere schimmeldruk door vochtiger microklimaat?

Bovenstaand zijn de voordelen van het microklimaat in agroforestry-systemen beschreven. In sommige gevallen hebben boomstroken echter ook nadelen. In droge jaren is het voordelig als er minder verdamping is van de gewassen en een hogere luchtvochtigheid. In nattere jaren is het juist wenselijk dat het gewas goed 'doorwaait' en de luchtvochtigheid niet te hoog is. Dit vergroot namelijk het risico op een hogere schimmeldruk, met negatieve gevolgen voor de gewasgezondheid en daaruit volgend een mogelijk lagere opbrengst, kwaliteit en/of hoger middelen gebruik.

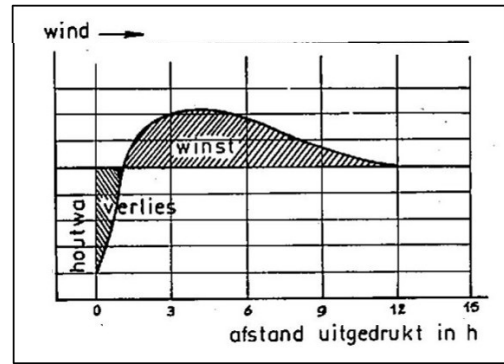
Dit effect wordt in sommige gevallen ook bij bestaande houtwallen waargenomen. Meer dauwvorming door lagere windsnelheden zorgen voor een langere 'bladnatperiode', wat de epidemische ontwikkeling van schimmelziektes begunstigt. In welke mate en met welke gevolgen dit op kan treden in agroforestry-systemen moet verder onderzocht worden om daar echte uitspraken over te doen. Het zal in ieder geval afhangen van de afstand tussen de boomstroken en de porositeit (dichtheid) van de bomenrijen. Met een groter interval tussen boomstroken en een hogere porositeit zal het gewas beter kunnen 'doorwaaien' en daarmee wordt de bladnatperiode verkort. In het ontwerp van een agroforestry-systeem kan hier dus rekening mee gehouden worden. Bij de WUR agroforestry afstandenproef in Lelystad is daarom gekozen om 'open stammen' van de bomen te behouden en geen dichte haag te laten groeien. Zodoende is er wel sprake van windremming, maar wordt er tegelijk enige wind doorgelaten. Of dit het gewenste effect heeft moet in de komende jaren blijken, als gevoelige gewassen zoals aardappel geteeld gaan worden.

De grote, bovenliggende vraag is hoe 'gemiddelde jaren' er qua klimaat uit gaan zien in de toekomst. Als het beeld van de afgelopen 5 jaar in Zeeland (en Nederland) zich doorzet dan zullen (extreem) droge jaren de overhand hebben ten opzichte van (extreem) natte jaren en zal de problematiek rond een hogere schimmeldruk mogelijk meevallen.

2.2.2 Concurrentie tussen bomen en gewassen

Naast het waterbesparend effect van bomen door het verminderen van de verdamping in gewassen, zullen ze dicht bij de boomstrook concurreren met de gewassen. Deze concurrentie zal gaan om licht, nutriënten en water, wat in drogere periodes een uitdaging kan zijn. Dit leidt er in de meeste agroforestry-systemen toe dat dicht bij een bomenrij sprake is van een verminderde gewasopbrengst (zie ook Figuur 3).

Vanuit studies in het Mediterrane klimaat weten we dat in jaren en van extreme droogte de schaduw van bomen juist kan zorgen voor een hogere opbrengst, al zal het in dat geval vooral gaan om het behouden van een relatief lage opbrengst ten opzichte van een misoogst. In agroforestry-systemen in Spanje is aangetoond dat granen tussen bomenrijen (op 6 m afstand van elkaar) in droge jaren een meeropbrengst geven ten opzichte van granen in open veld (Arenas-Corraliza et al. 2017). Deze opbrengsten waren echter nog steeds veel lager dan in jaren met gunstige weersomstandigheden. In de gunstige jaren met voldoende neerslag gaven de granen in het agroforestry-systeem een lagere opbrengst door de concurrentie van de bomen met het gewas.



Figuur 3. Illusterende grafiek van de invloed van houtwallen op gewas-opbrengsten, h = hoogte van de houtwal (aangepast uit: Voortman, 1977).

Wel kan er in de meeste gevallen vanuit gegaan worden dat bomen dieper wortelen dan de gewassen, en daarmee water uit diepere bodemlagen halen, waardoor de concurrentie met de gewassen enigszins beperkt wordt. Dit effect hangt sterk af van de boomsoort. In een onderzoek in een agroforestry-systeem in Italië met populieren en soja is dit aangetoond, doordat de populieren, zeker in de zomer, voornamelijk water uit de diepere bodemlagen opnamen (Paris et al. 2017). Dit betekent dus dat ze minder concurreren met de gewassen, omdat water uit verschillende lagen wordt opgenomen. Als bomen in Nederlandse polders met hun wortels toegang hebben tot grondwater zal waarschijnlijk een vergelijkbaar effect plaatsvinden waardoor er minder sprake is van concurrentie om water tussen gewas en boomstrook.

Tegengaan van concurrentie tussen boom en gewas

Een optie om de concurrentie tussen bomen en gewassen nabij de boomstrook te verminderen is *wortelsnoei* (ook wel *root pruning*), waarbij de oppervlakkige wortels van de bomen worden afgesneden. Dit heeft als doel om de directe concurrentie tussen boom en gewas in de wortelzone te verminderen, en daarnaast 'dwingt' het bomen om dieper te wortelen, waardoor ze beter in staat zijn om water (en nutriënten) uit diepere lagen op te nemen. Zover bekend zijn er in Nederland en omstreken nog geen studies geweest die het effect van wortelsnoei in agroforestry-systemen hebben onderzocht. Wortelsnoei wordt al wel toegepast in Nederlandse fruitboomgaarden, maar om andere redenen (beperken boomgroei en bloeibevordering).

In Spanje is er wel een studie geweest die het effect van wortelsnoei heeft onderzocht in een agroforestry-systeem (Inurreta-Aguirre et al. 2022). Dit onderzoek toonde aan dat wortelsnoei leidde tot een hogere waterbeschikbaarheid voor de gewassen naast de bomenrij, maar dit effect gaf in dat jaar geen significant hogere gewasopbrengst. Dat betekent waarschijnlijk dat licht in dat jaar de beperkende groeifactor was en niet de waterbeschikbaarheid. Wortelsnoei brengt risico's met zich mee doordat er feitelijk schade aan de boom wordt toegebracht. Om te voorkomen dat hierdoor ziekte en/of sterfte toeneemt zal dit goed onderzocht moeten worden en met beleid gedaan worden.

Er zijn mogelijk enkele andere opties om het wortelpatroon van de bomen en struiken in een boomstrook aan te passen, zoals het dieper planten van bomen tijdens de aanplantfase. Dit zal in ieder geval het 'aanslaan' van de bomen in een droog jaar bevorderen, maar of bomen hierdoor dieper gaan wortelen is de vraag. In Duitsland zijn hier met aanplant van populier wel goede ervaringen mee. Ook zal dit niet voor alle boomsoorten en plantmethoden een goede optie zijn. Het beregenen van jonge bomen (om aanslaan te bevorderen) kan ervoor zorgen dat ze juist oppervlakkiger wortelen. Dit effect zou beperkt kunnen worden door minder vaak in grotere hoeveelheden te beregenen. De boomkeuze is daarnaast van significante invloed op de mogelijke gewasconcurrentie, omdat verschillende bomen en struiken andere wortelpatronen hebben. Dieper wortelende bomen hebben hierbij een voorkeur vanwege de opname van water en nutriënten uit diepere bodemlagen.

Al met al, lijkt het de moeite waard om te onderzoeken welke maatregelen genomen kunnen worden om de concurrentie tussen bomen en gewassen voor water en nutriënten te verlagen. De schaduwwerking van de bomen op het gewas blijft echter bestaan als (meestal) nadelig effect op de gewasopbrengst. Vanuit het oogpunt van klimaatadaptatie en waterkwaliteit is het wel degelijk gunstig om bomen dieper te laten wortelen en daarmee water en nutriënten uit diepere bodemlagen te kunnen benutten.

Hydraulic lift

Hydraulic lift is een proces dat vaak genoemd wordt in combinatie met agroforestry-systemen. Het idee erachter is dat bomen water van nattere bodemlagen naar drogere bodemlagen kunnen brengen via hun wortelsysteem. Dit wordt vooral interessant wanneer bomen in tijden van droogte water van diepere bodemlagen naar de droge oppervlakkige bodemlagen kunnen brengen. Dit effect is in verschillende studies aangetoond, maar het is niet onderzocht of dit daadwerkelijk een positief effect heeft op de gewasgroei (Bayala & Prieto. 2020; Fernández et al. 2008).

In een opzet met relatief brede akkerbouwstroken (>20 meter), een vorm van agroforestry die past bij de Nederlandse mechanisatie, zal de *hydraulic lift* naar alle waarschijnlijkheid zeer beperkte effecten hebben op de gewasgroei. Als de gewassen er al baat bij hebben, zullen dit enkel de gewassen dicht bij de boomstrook zijn, die tegelijk met een sterke concurrentie voor licht te maken hebben. In een verdergaand gemengd systeem, zoals een voedselbos, zou dit proces een groter effect kunnen hebben.

2.2.3 Waterverbruik en verdamping op systeemniveau

Dat de gewassen tussen boomstroken minder water lijken te verdampen en een efficiënter waterverbruik hebben (2.2.1) betekent niet per sé dat het hele agroforestry-systeem minder water verbruikt. De boomstrook zelf verdampt ook water, en dit is vaak relatief meer dan als er gewassen op dezelfde plek zouden staan. Dit verschil wordt met name veroorzaakt door een langer groeiseizoen van bomen in vergelijking met (eenjarige) gewassen, maar hangt daarnaast natuurlijk ook af van de boomsoort, de boomdichtheid en de ondergroei (Jacobs et al. 2022).

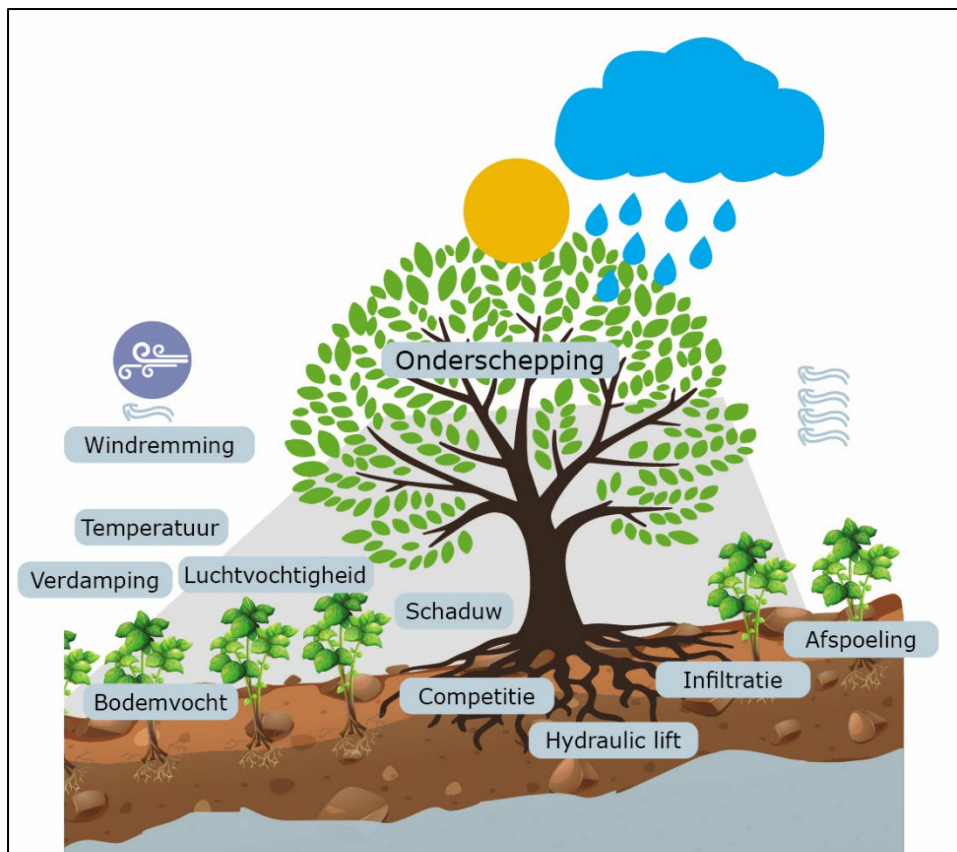
In een Duitse studie is gekeken naar de verdamping van 5 agroforestry-systemen in vergelijking tot monoculturen van grasland of akkerbouw. Wederom ging het hier om korte-omloophout met wilg of populier. Het onderzoek van Markwitz et al. (2020) heeft uitgewezen dat er, ondanks lokale verschillen in verdamping, op systeemniveau geen duidelijke verschillen waren in de totale verdamping op systeemniveau tussen de agroforestry-systemen en de monoculturen.

Hieruit kan de voorzichtige conclusie getrokken worden dat agroforestry op systeemniveau geen hele duidelijke verschillen geeft in waterverdamping en daarmee verbruik. Dit zou dus betekenen dat een agroforestry-systeem op jaarbasis geen water bespaart, maar ook geen extra water verbruikt, al hangt dit in zekere mate natuurlijk nog wel af van de inrichting van het agroforestry-systeem. Het zou interessant zijn om vergelijkbaar onderzoek te doen in agroforestry-systemen met bijvoorbeeld fruit- of notenbomen. Tijdens droge periodes kan het waterverbruik van agroforestry-systemen in sommige gevallen wel hoger liggen, wat veroorzaakt kan worden doordat bomen dieper wortelen en dus meer water beschikbaar hebben.

De vraag kan sowieso gesteld worden of het voor de Nederlandse context van belang is om te weten of een agroforestry-systeem meer of minder water verbruikt. Dit wordt waarschijnlijk pas relevant als de jaarlijkse neerslaghoeveelheid lager is dan het (agroforestry)systeem verbruikt, waardoor de grondwateraanvulling in het geding kan komen. Het waterverbruik in kritische (droge) periodes is op korte termijn voor ondernemers interessanter.

2.2.4 Effecten op waterinfiltratie en waterbergend vermogen

De boomstroken in een agroforestry-systeem hebben op drie manieren effect op de waterinfiltratie en het waterbergend vermogen. Dit betreft de neerslagonderschepping door de boomkroon (blad en takken), verbeterde infiltratie langs boomwortels en beter waterbergend vermogen door het hogere organische stofgehalte in de bodem. Deze effecten zijn bepaald vanuit de review paper van Jacobs et al. (2022) en het bestuderen van deze processen.



Figuur 4. Overzicht van effecten van bomen op waterhuishouding. Uit: Factsheet Agroforestry 9: Klimaatadaptatie (aangepast en vertaald uit: Jacobs et al. 2022).

Effect van de boomkroon: neerslagonderschepping

Door de bovengrondse biomassa van de boom, en met name het bladerdek van de boomkroon zal tijdens een regenbui een deel van de neerslag onderschept worden en geleidelijk afstromen naar de bodem. Dit zal rondom de boomstrook zorgen voor een ander neerslagpatroon dan in een open veld en zal bij een kale bodem leiden tot minder verslemping. Hoe dit precies zal uitpakken en hoe groot dit effect is, is onduidelijk. Bij piekbuien en wateroverlast is de inschatting dat het effect hiervan beperkt is.

Effect van de boomwortels: betere infiltratie en afvoer

De boomwortels in bomenrijen zorgen over het algemeen voor een betere bodemstructuur en meer poriën in de bodem. Water stroomt namelijk gemakkelijk langs boomwortels omlaag en oude wortels laten macroporiën achter in de bodem. Dit samen zorgt ervoor dat het water tijdens regenbuien beter de grond in kan en het water afgevoerd kan worden.

Effect van verhoogde organische stof: betere infiltratie en watervasthoudend vermogen

Naast de fysieke poriën die boomwortels veroorzaken, hebben de bomen via afstervende biomassa (bladval en wortels) een positief effect op het organische stofgehalte van de bodem in en nabij de boomstroken. Tegelijkertijd zullen deze afstervende biomassa van de bomen, de toename van organische stof en verminderde grondbewerking in de bomenrij een gunstige uitwerking hebben op de bodembiodiversiteit. Een hoger organische stofgehalte, samen met een hogere bodembiodiversiteit (met name regenwormen) zorgen voor een betere bodemstructuur en stabiliteit, wat de infiltratie van water en het watervasthoudend vermogen bevordert.

Kortom, boomstroken in een landbouwsysteem kunnen bijdragen aan een verbeterde waterinfiltratie en waterbergend vermogen in vergelijking met een monocultuur akkerbouw. Dit kan tijdens natte periodes en piekbuien zorgen voor een betere waterafvoer en minder wateroverlast op het perceel. Op basis van beschikbare kennis is het nog niet mogelijk om dit goed te kwantificeren. Ook kan dit in heuvelachtige gebieden zorgen voor verminderde afspoeling en erosie, al is dit op de meeste plekken in Nederland en zeker voor Zeeland niet direct relevant. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat dit effect voornamelijk in en rondom

de boomstrook plaatsvindt. In agroforestry-systemen met een grote afstand tussen de boomstroken zal dit effect dus beperkter zijn.

Boomwortels en drainagesystemen

Boomwortels kunnen gezien worden als natuurlijke drains, maar ze gaan niet altijd goed samen met ter plekke aanwezige drainagebuizen. Boomwortels kunnen in openingen en beschadigingen van drainagebuizen wortelen en de drains daarmee verstoppert. Deze problemen zijn vaak groter bij oude drainagebuizen dan de moderne systemen, al kan het ook daar voorkomen. Verder verschilt het effect per boomsoort; zo zullen de meeste fruitbomen, beuken, berken en eiken geen problemen veroorzaken, maar snelgroeiende soorten als populier, wilg en es mogelijk wel. Het is dus de moeite waard om bij het ontwerpen en inrichten van een agroforestry-systeem rekening te houden met eventueel aanwezige drainage in een perceel om problemen hieromtrent te voorkomen.

Bron en meer info: [Agroforestry Vlaanderen](#)

2.3 Effecten op waterkwaliteit

In 2.2 is aangetoond dat agroforestry-systemen de waterstromen in een landbouwsysteem beïnvloeden, en dat dit positieve effecten kan hebben op het gewas en op het systeem. Deze veranderende waterstromen en eigenschappen van bomen kunnen ook positieve effecten hebben op de waterkwaliteit. Zeker met de doelstellingen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW) kan dit erg relevant zijn. Hieronder wordt verder ingezoomd op de potentiële effecten op de nutriëntenuitspoeling (m.n. nitraat), afspoeling naar oppervlaktewater (van nutriënten en eventuele gewasbeschermingsmiddelen) en de verzilting.

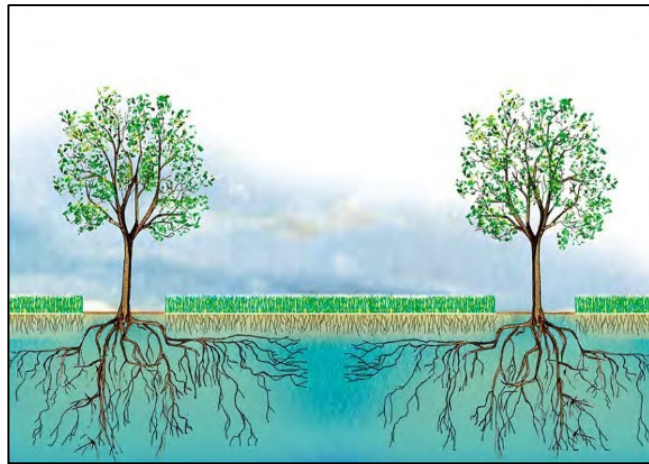
Daarnaast zal over het algemeen in agroforestry systemen sprake zijn van een verminderd gebruik van (kunst)mest doordat het areaal met éénjarige gewassen kleiner is geworden als gevolg van de boomstroken. Dit effect wordt hier niet verder besproken. In 2021 is een notitie verschenen over het effect van agroforestry op de stikstofdynamiek (Fuchs et al. 2021a).

2.3.1 Effect op nutriëntenuitspoeling

Doordat bomen dieper en vaak extensiever wortelen dan éénjarige gewassen kunnen ze nutriënten en water opnemen uit diepere bodemlagen die voor de meeste gewassen niet (meer) opneembaar zijn. Deze opgenomen nutriënten kunnen via bladval en afstervende wortels deels weer beschikbaar komen voor de ondergroei en gewassen dicht bij de boom. Dit wordt ook wel de 'nutriëntenpomp' functie van bomen genoemd.

Onder boomstroken in agroforestry-systemen zullen dus in de meeste gevallen minder nutriënten uitspoelen dan in een monocultuur akkerbouw. Dit effect is aangetoond in een studie in Duitsland, waarbij de nitraatconcentratie in de bovenste grondwaterlaag gemeten is op een akker, een akkerrand zonder bomen en een akkerrand met bomen (Böhm et al. 2020). Hierbij was de gemeten nitraatconcentratie in het grondwater onder de akkerrand met bomen duidelijk vele malen lager dan onder de akker, maar ook dan onder de akkerrand zonder bomen. Dit betekent dus dat een agroforestry-systeem vergeleken met een monocultuur akkerbouw hoogstwaarschijnlijk een lagere N-uitspoeling heeft, omdat er onder de boomstroken meer opgenomen wordt en dus minder uitspoelt.

De grote vraag is echter hoe ver dit effect van de boomwortels reikt. In een agroforestry-systeem zullen de boomwortels deels onder de gewasstroken wortelen, ook daar nutriënten uit diepere bodemlagen op kunnen nemen en daarmee nutriëntenuitspoeling verminderen. Dit effect wordt wel de 'safety-net hypothesis' genoemd en is geïllustreerd in Figuur 5.



Figuur 5. Geïllustreerde weergave van wortelpatroon in een agroforestry-systeem, dat de safety-net hypothese inzichtelijk maakt. Bron: Dupraz & Liagre. 2008.

In een projectrapport van Agroforestry Vlaanderen (Nelissen et al. 2017) wordt dit effect beschreven, maar niet gekwantificeerd. In een eerdere verkenning binnen deze reeks (Fuchs et al. 2021a) wordt een verminderde N-uitspoeling van 30% genoemd voor een systeem met walnoten, maar dit betreft een grove schatting op basis van literatuur en procesbegrip en is niet op metingen gebaseerd. Palma et al. (2007) hebben de

nitraatuitspoeling in agroforestry-systemen gemodelleerd, inclusief een voorbeeld in Nederland. Daarbij werd een 30% reductie van nitraatuitspoeling berekend in een systeem met een hoge uitspoeling. Daarnaast werd de belangrijke opmerking gemaakt, dat het effect erg af zal hangen van de boomedichtheid en dan met name van de afstand tussen de boomstroken.

Kortom, de nutriëntenuitspoeling zal in agroforestry-systemen lager zijn dan in monoculturen van éénjarige gewassen doordat boomwortels nutriënten uit diepere bodemlagen kunnen opnemen. Het effect hiervan zal afhangen van de boomedichtheid en afstand tussen boomstroken, maar ook van de boomsoort, het type gewas, eventueel gebruik van groenbemesters en de grondsoort. Bij gewassen en bodems die gevoelig zijn voor uitspoeling zullen de positieve effecten relatief groter zijn.

2.3.2 Afspoeling en oppervlaktewater kwaliteit

Naast nutriëntenuitspoeling naar grondwater is ook de afspoeling naar oppervlaktewater relevant vanuit de KRW-doelstellingen voor oppervlaktewater kwaliteit. Het gaat hierbij voornamelijk om te hoge concentraties van stikstof en fosfaat, maar ook gewasbeschermingsmiddelen. Zeker als boomstroken ingezet worden als bufferstrook langs watergangen zal dit zowel bovengronds als ondergronds een blokkade vormen en de afspoeling reduceren. Ook kan drift van gewasbeschermingsmiddelen gereduceerd worden door de fysieke barrière, waardoor er potentieel minder middelen in het oppervlaktewater terecht komen.

2.3.3 Effecten op verzilting

Met name in de Nederlandse kustgebieden wordt verzilting een steeds groter probleem, wat door de droge zomers van de afgelopen jaren verder versterkt wordt. Zeker in de provincie Zeeland, omgeven door veel (zout) water, is dit een groot probleem. Dit uit zich door verzilting van het diepere grondwater, maar betreft ook veel oppervlaktewater, dat daarmee ongeschikt wordt voor irrigatie.

Aangezien agroforestry-systemen de waterstromen beïnvloeden zal dit ook enig effect hebben op verzilting. Er is echter weinig tot geen kennis beschikbaar over hoe dit specifiek in zijn werk gaat en hoe groot het effect van agroforestry op verziltingsproblemen kan zijn. Hieronder worden een aantal processen beschreven die een rol spelen in het effect op verzilting.

- **Minder watergebruik door gewassen.** Zoals in 2.2.1 beschreven, kan het microklimaat-effect van een agroforestry-systeem leiden tot verminderde verdamping en daarmee lager watergebruik door de geteelde gewassen. Dit zal betekenen dat er wat meer (zoet) water in de bodem blijft, wat de behoefte aan irrigatie verlaagt en mogelijk de indringing van zout water enigszins kan reduceren.
- **Betere waterinfiltratie en waterberging.** In 2.2.4 is beschreven dat de waterinfiltratie en het waterbergend verhoogd worden in agroforestry-systemen. Dit zorgt ervoor dat regenwater geleidelijk

de grond in trekt, het water beter vastgehouden wordt en er mogelijk minder afgevoerd hoeft te worden via sloten. Dit kan mogelijk een kleine bijdrage leveren aan het behoud van zoet water in de ondergrond, maar is sterk afhankelijk van de grondsoort en bodemprofiel.

- **Gelijk waterverbruik op systeemniveau.** Op systeemniveau lijkt er geen groot verschil in waterverbruik tussen agroforestry en een monocultuur akkerbouw, zoals beschreven in 2.2.3. Dit betekent dat er op jaarbasis en systeemniveau geen zoet water bespaard wordt, maar ook dat er geen grote hoeveelheid extra water verbruikt wordt wanneer boomstroken worden aangelegd. Mogelijk vindt enige besparing van water plaats tijdens de meest kritische (droogte)periodes die vaak in de zomer voor komen.

Kortom, het effect van agroforestry op verzilting is nog te weinig onderzocht om hier conclusies aan te verbinden. Uitgaande van de effecten van agroforestry op de waterstromen in het algemeen wordt geen groot effect ten aanzien van verzilting verwacht. Agroforestry zal daarom geen oplossing bieden maar hooguit enige verlichting kunnen geven bij het aanpakken van verzilting.

2.4 Conclusies en opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse omstandigheden

2.4.1 Waterbeschikbaarheid

De windremming in agroforestry-systemen heeft de potentie om de verdamping in de gewasstroken te verminderen. In droge jaren en periodes kan dit een voordeel opleveren voor de gewasgroei; zeker in gebieden waar geen of weinig beregening mogelijk is kan dit verlichting bieden. Om dit voordeel voor de gewasgroei te optimaliseren moeten de boomstroken niet te dicht bij elkaar geplant worden, want dat vergroot de concurrentie tussen de bomen en gewassen. Ook kunnen de boomstroken bijdragen aan een hogere waterinfiltratie en berging.

Agroforestry-systemen zullen niet de hele droogte problematiek kunnen oplossen, en in droge jaren zullen de gewassen verbouwd tussen boomstroken het nog steeds moeilijk hebben, maar het lijkt wel enige verlichting te kunnen bieden. Samen met andere maatregelen om de waterbeschikbaarheid te verhogen kan dit onderdeel van een strategie zijn.

2.4.2 Waterkwaliteit

Agroforestry biedt door een diepere doorworteling van bomen en struiken kansen om de nutriëntenuitspoeling naar grondwater en afspoeling naar oppervlaktewater te verminderen en kan daarmee bijdragen aan een verbetering van de waterkwaliteit. Dit effect zal echter sterk afhangen van de inrichting van het systeem en andere maatregelen die op perceelsniveau worden toegepast, zoals bemestingsplan, gewaskeuze en gebruik groenbemesters. Afhankelijk van boomkeuze en -beheer kan ook de hoeveelheid ingezette gewasbeschermingsmiddelen en (kunst)mest op perceelsniveau verminderen doordat het areaal voor éénjarige gewassen kleiner wordt.

De invloed van agroforestry-systemen op verzilting is nog te weinig onderzocht om uitspraken over de te verwachten effecten te kunnen doen. Agroforestry lost het verziltingsprobleem zeker niet op, maar kan mogelijk enige verlichting bieden door lagere gewasverdamping, betere infiltratie en een toenemend watervasthoudend vermogen van de bodem.

2.4.3 Opmerkingen t.a.v. Zeeuwse omstandigheden

Aangezien de (zoet) waterbeschikbaarheid in veel gebieden in Zeeland een grote uitdaging vormt, lijken alle vormen van waterbesparing en betere waterberging interessant. Het effect van boomstroken op windremming en daarmee reductie in verdamping heeft vooral in open gebieden met veel wind veel potentie, dus zou daar in Zeeland met veel open polders zeker een effect van verwacht kunnen worden. Het zou relevant zijn om het

effect op gewasverdamping in de Zeeuwse context verder te onderzoeken, bijvoorbeeld op verschillende afstanden van bestaande bomenrijen.

Tegelijkertijd is de concurrentie tussen bomen en gewassen iets om rekening mee te houden, zeker omdat er in de Zeeuwse omstandigheden vaak geen tot amper berekening mogelijk is. Het loont dus om goed uit te zoeken hoe deze concurrentie verminderd kan worden, bijvoorbeeld via wortelsnoei, zoals in de (Zeeuwse) fruitteelt al gebeurt.

In nattere jaren heeft een reductie van verdamping minder voordelen rondom het waterverbruik en kan een vochtiger microklimaat juist bijdragen aan een hogere schimmeldruk. Het is aan te bevelen om goed uit te zoeken hoe dit zal uitpakken in Zeeland en hoe hier rekening mee gehouden kan worden in het ontwerp van een agroforestry-systeem. Ook hier kan een studie naast bestaande bomenrijen interessante informatie opleveren.

Voor Zeeland kan het interessant zijn dat agroforestry een bijdrage kan leveren aan de doelen voor waterkwaliteit via een reductie in uitspoeling en afspoeling. Dit zal op zandgronden echter een relatief groter effect hebben dan op (Zeeuwse) kleigronden, omdat de uitspoeling op zandgronden vaak hoger is. Interessant is het om te onderzoeken of bomen onderdeel kunnen zijn van de verplicht aan te houden bufferstroken rondom sloten. Wel moet gezegd worden dat er ook zonder agroforestry nog veel mogelijkheden zijn om nutriëntenuitspoeling te verminderen door aanpassingen van gewaskeuze, groenbemesters, bemestingsplan en waterbeheer.

Voor de verziltingsproblemen in Zeeland lijkt agroforestry niet het antwoord te zijn. Er zijn wel positieve effecten mogelijk, maar het is nog te weinig onderzocht om daar concrete uitspraken over te doen. Om echt het hoofd te bieden aan deze problematiek moet in andere oplossingsrichtingen gedacht worden.

Algemene opmerkingen Agroforestry in Zeeland

Indien men met agroforestry-systemen in Zeeland aan de slag wil gaan is het cruciaal om goed te bestuderen welke bomen en struiken geschikt kunnen zijn voor Zeeuwse omstandigheden. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de wind, de Zeeuwse bodem met veel kleigrond en relatief hoge grondwaterstanden in sommige gebieden, en ook de zilte omstandigheden en vaak lastige watervoorziening. In de verkenning 'Agroforestry in het Zeeuwse Landschap' in Hoofdstuk 3.2 is dit verder toegelicht, zie: edepot.wur.nl/567384.

3 Functionele agrobiodiversiteit

In dit hoofdstuk is verkend op welke manieren agroforestry de functionele agrobiodiversiteit kan beïnvloeden en welke effecten te verwachten zijn in de context van een Europees, gematigd klimaat. Er is onderscheid gemaakt tussen effecten op natuurlijke plaagbestrijding (3.2) en op bestuiving (3.3). De conclusies en opmerkingen t.a.v. de Zeeuwse situatie volgen in 3.4. In deze verkenning ligt de nadruk op het vergelijken van functionele agrobiodiversiteit in akkerbouwgewassen wanneer verbouwd in een agroforestry-systeem of in een monocultuur. Waar mogelijk is ook gekeken hoe de effecten van agroforestry op functionele agrobiodiversiteit uit kunnen pakken voor fruitteelt. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen fruitbomen verbouwd in een (monocultuur) boomgaard en fruitbomen geplaatst als houtige elementen in een agroforestry-systeem, met bijv. akkerbouw of vee tussen de bomen. Functionele agrobiodiversiteit is een belangrijk onderwerp in de fruitteelt, zowel vanwege het belang van goede natuurlijke plaagbestrijding als bestuiving en in Zeeland vindt relatief veel fruitteelt plaats.



Figuur 6. Visualisatie van een agroforestry-systeem met laagstamfruit met akkerbouw. Zowel in de akkerbouwgewassen als in de fruitbomen bevindt zich mogelijk andere functionele agrobiodiversiteit dan wanneer de bomen of gewassen in monocultuur zijn verbouwd (akker of boomgaard). Uit: Fuchs et al. 2021b.

3.1 Wat is functionele agrobiodiversiteit?

Aan de basis van het concept van functionele agrobiodiversiteit ligt het ecologische principe dat biodiversiteit, de verscheidenheid aan aanwezige soorten organismen, belangrijk is voor het functioneren van een ecosysteem. Elk van de aanwezige soorten vervult diverse rollen, waardoor er binnen het ecosysteem een natuurlijk evenwicht bestaat. Een evenwicht bijvoorbeeld tussen verschillende populaties maar bijvoorbeeld ook tussen de productie en afbraak van organisch materiaal. In functionele agrobiodiversiteit wordt ingezoomd op die onderdelen van biodiversiteit die menselijke voedselproductie ondersteunen. Zo kan de volgende definitie van functionele agrobiodiversiteit bepaald worden (Bianchi et al. 2013):

"Die elementen van biodiversiteit op de schaal van akkers, velden of landschappen, die ecosystemendiensten leveren ter ondersteuning van duurzame agrarische productie en daarnaast voordelen leveren aan de regionale en mondiale omgeving en maatschappij".

Bij functionele agrobiodiversiteit draait het dus om alle biodiversiteit op en rondom agrarische bedrijven, die direct of indirect een rol spelen bij de ondersteuning van teelten. De twee bekendste en vaakst genoemde diensten van functionele agrobiodiversiteit, zijn natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving. Op deze twee aspecten is in deze verkenning de focus gelegd.

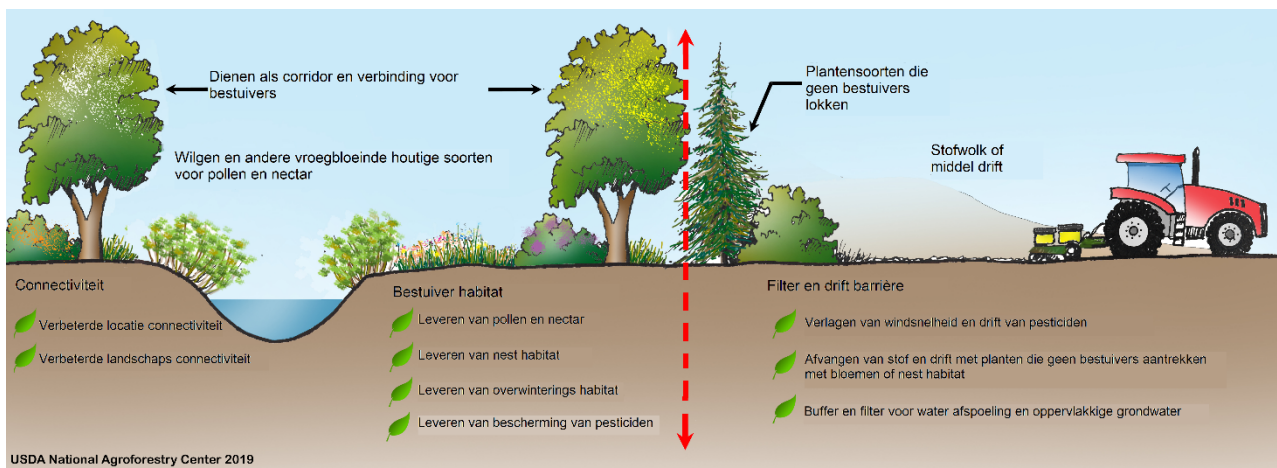
Natuurlijke plaagbestrijding houdt in dat plaagorganismen, zoals bladluizen of rupsen, onderdrukt worden door zgn. natuurlijke vijanden. Hierdoor kan ziekte in of schade aan gewassen geheel of gedeeltelijk worden voorkomen. Voorbeelden van natuurlijke vijanden belangrijk voor akkerbouw in Nederland zijn lieveheersbeestjes, loopkevers en sluipwespen. Een belangrijke natuurlijke vijand in fruitteelt is de oorworm.

Bestuiving is noodzakelijk voor een goede productie van bloeiende gewassen. Specifieke bloeiende gewassen zoals fruit, diverse peulvruchten, koolzaad, tomaten en pompoenen zijn afhankelijk van bestuiving door dieren; in Nederland hoofdzakelijk insecten zoals bijen, hommels, vliegen, kevers of vlinders. Op grote akkerbouwpercelen en zeker in fruitteelt worden bijenkasten ingezet om voldoende bestuiving te garanderen. Aanwezigheid van 'wilde' bestuivers kan dit ondersteunen of zelfs overbodig maken.

3.2 Hoe kan agroforestry de functionele agrobiodiversiteit beïnvloeden?

Agroforestry kan op verschillende manieren een positieve invloed hebben op biodiversiteit in het algemeen. Kort gezegd zorgt de toevoeging van houtige gewassen aan een akkerbouwsysteem voor meer diversiteit en voor meer stabiliteit in het landschap: er zijn elementen toegevoegd die permanent aanwezig blijven. Hierdoor kunnen meer verschillende organismen voedsel, schuilplaats en habitat vinden en kunnen leefgebieden aan elkaar verbonden worden. Uitgebreide uitleg is te vinden in o.a. de agroforestry factsheet '[Biodiversiteit vergroten, hoe doe ik dat?](#)' en een eerdere verkenning binnen deze reeks, '[Agroforestry in het Zeeuwse landschap](#)'.

De vraag is of functionele agrobiodiversiteit op dezelfde manier beïnvloed wordt door agroforestry als biodiversiteit in het algemeen, of dat er andere effecten plaatsvinden. In een uitgebreide literatuurstudie door Bentrup et al. (2019) wordt specifiek uitgelegd hoe agroforestry invloed kan hebben op bestuivende insecten. In Figuur 7 zijn hun bevindingen gevisualiseerd: hoe kunnen bestuivende insecten voordeel hebben van het toevoegen van houtige elementen rond een akker. Zulke voordelen kunnen mogelijk ook behaald worden wanneer de houtige elementen in lanen over het veld geplaatst worden (zogenaamde rijenteelt).



Figuur 7. Visualisatie van de diverse voordelen die houtige elementen kunnen bieden voor bestuivende insecten. De rode stippellijn geeft de barrière weer die gevormd wordt tegen stof en gewasbeschermingsmiddelen. Overgenomen en vertaald uit: Bentrup et al. 2019.

Ook voor bestuivende insecten wordt benadrukt dat in een agroforestry-systeem meer voedsel, schuilplaats, habitat en connectiviteit met andere leefgebieden geboden wordt dat in een monocultuur systeem. Een interessante toevoeging die hier gemaakt wordt, is het gebruik van houtige gewassen als barrière om drift van gewasbeschermingsmiddelen en stofwolken tegen te gaan. Belangrijk is wel dat er in zo'n drift barrière soorten geplant worden die niet dienen als waardplant voor bestuivende insecten. Om dit effect te bereiken, moet hier zeer specifiek rekening mee gehouden worden in een eventueel ontwerp. Algemeen zal het feit dat toevoegen van houtige elementen windsnelheden op akkers verlaagt, bijdragen aan vermindering van drift van gewasbeschermingsmiddelen. Als door lagere windsnelheden bovendien de temperatuur in het voorjaar eerder stijgt, kunnen bestuivende insecten zoals bijen eerder vliegen.

Het lijkt aannemelijk dat bovenstaande mechanismen niet alleen van toepassing zijn voor bestuivende insecten, maar ook voor insect(achtig)en die optreden als natuurlijke vijanden. Denk hierbij aan zweefvliegen, sluipwespen, lieveheersbeestjes, loopkevers of spinnen. De groep natuurlijke vijanden is echter groter dan dat: vogels, amfibieën, vlermuizen en andere kleine roofdieren kunnen eveneens een rol spelen in natuurlijke plaagbestrijding. Ook voor deze groepen geldt dat overstap van monocultuur naar agroforestry een toename in diversiteit van voedsel, schuilplaats en habitat betekent. Daarmee kan de kans op aanwezigheid van deze soorten vergroot worden, maar zeker voor dergelijke (grotere) natuurlijke vijanden geldt dat hun aanwezigheid afhankelijk is van een complex geheel aan interacties en omstandigheden. Het exacte effect op deze natuurlijke vijanden is daarom lastig te voorspellen.

Ten slotte moet er rekening gehouden worden met het feit dat effecten van agroforestry op natuurlijke vijanden of bestuivers, niet één op één te vertalen zijn naar effecten op ziekte- en plaagdruk, bestuiving of gewasopbrengst. Er zijn natuurlijk nog vele andere factoren die van invloed zijn op de gewasopbrengst. Ook andere effecten van houtige gewassen zijn hierbij belangrijk. Eerder in deze verkenning werd al genoemd dat in agroforestry-systemen, door reductie van verdamping en daardoor een vochtiger microklimaat, juist een hogere schimmeldruk op zou kunnen treden vergeleken met een volledig akkerbouwsysteem. In Tabel 1 worden nog een aantal voorbeelden gegeven van manieren waarop het toevoegen van bomen een effect kan hebben op ziekten en plagen in een naastliggend gewas, zowel positief als negatief. Dergelijke effecten zijn veel breder dan alleen het effect op eventuele natuurlijke plaagbestrijding. Dit geeft een indruk van de vele diverse effecten die plaats kunnen vinden, zowel positief als negatief. Het grote aantal mogelijke interacties maakt het complex om de uiteindelijke uitkomst (schade door ziekte of plagen, gewasopbrengst) te verklaren of voorspellen.

Tabel 1. Enkele voorbeelden van interacties tussen houtige en éénjarige gewassen met positieve of negatieve gevolgen voor ziekten en plagen. Naar: Sileshi et al. 2008.

Rol houtige gewassen	Mogelijke effecten op het gewas
Veroorzaken van competitie met de gewassen om nutriënten, licht en water	Verminderde groei­kracht van gewassen waardoor vatbaarheid voor plagen wordt verhoogd
Bieden van schuilplaats en voedsel voor natuurlijke vijanden	Vermindering van plaagproblemen in aangrenzende akkers
Optreden als fysieke barrières tegen de verspreiding van plagen en pathogenen	Vermindering van plaag- en ziekteverspreiding
Verbeteren van het microklimaat in gure omgevingen	Verbeterde groei­kracht van gewassen Opbouw van plagen en pathogenen
Optreden als waardplant voor plaagorganismen en pathogenen	Verhoging van schade door ziekte- en plagen in het gewas
Jaarrond bodembedekking door snoeimateriaal en bladafval	Opbouw van sommige plagen en pathogenen

3.3 Effecten op natuurlijke plaagbestrijding

In deze sectie zal verder ingegaan worden op de huidige beschikbare kennis en data over welke effecten agroforestry nu daadwerkelijk heeft op natuurlijke plaagbestrijding, met een focus op studies waarin agroforestry-systemen vergeleken worden met monocultuur akkerbouwsystemen of boomgaarden.

Als belangrijke kanttekening die meegegeven moet worden bij onderzoek naar biodiversiteit in gemengde systemen, is dat elk systeem en elke locatie anders is. Dit heeft grote invloed op de gevonden resultaten en betekent dat generieke uitspraken over agroforestry, altijd vrij algemeen zullen moeten blijven. Tegelijkertijd is onbekend wat de uitkomsten over specifieke interacties in specifieke situaties kunnen betekenen voor agroforestry-systemen in andere situaties. Het is een interessante maar nog onbeantwoorde vraag hoe deze tegenstelling te overkomen is. Voor deze verkenning is zowel gekeken naar meta-analyses als enkele specifieke onderzoeken die interessant kunnen zijn voor de Zeeuwse situatie.

3.3.1 Aanwezigheid natuurlijke plaagbestrijders in akkerbouwgewassen

Er zijn twee meta-analyses gevonden waarin o.a. de effecten van agroforestry op natuurlijke plaagbestrijding in gematigde klimaat onderzocht werden. In meta-analyses wordt alle gepubliceerde data uit empirische onderzoeken naar een specifiek onderwerp verzameld en geanalyseerd om te zien of er, alles bij elkaar opgeteld, een positief of een negatief antwoord gegeven kan worden op een algemene vraag zoals: heeft agroforestry effect op plaagdruk?

In 2015 werd de, tot dusver bekend, eerste meta-analyse op dit thema uitgevoerd door Pumarino et al. Van de 42 verzamelde studies, werden echter in het overgrote merendeel (40) tropische agroforestry-systemen onderzocht. Hoewel er als conclusie een toename van natuurlijke vijanden en een afname van gewasschade in agroforestry-systemen t.o.v. monocultuur systemen wordt gerapporteerd, blijken er wel belangrijke verschillen tussen specifieke systemen te bestaan. Zo was de afname van gewasschade wel significant in houtige gewassen als koffie en cacao maar niet in maïs. In een recentere analyse van Staton et al. (2019) werd wel specifiek naar silvoarable agroforestry in de gematigde klimaatzone gekeken. In totaal werd data van 12 studies meegenomen in de analyse, uit Canada, Frankrijk, Turkije, Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten. Akkerbouwgewassen in de agroforestry-systemen waren graan, maïs, alfalfa en erwt. Over het geheel werd opnieuw een hoger aantal natuurlijke vijanden en lager aantal plaaginsecten gerapporteerd in akkerbouwgewassen in een agroforestry-systeem ten opzichte van diezelfde gewassen in een monocultuur. Het algemene beeld is dus dat agroforestry-systemen een positief effect hebben op natuurlijke plaagbestrijding. Opvallend is dat in de twee studies waarin gekeken werd naar aanwezigheid van slakken, beide keren een toename van slakken gevonden werd. Dit was ook het geval in een later Engels onderzoek (Staton et al. 2021a).

Om toch een specifiek beeld van de mogelijkheden in Zeeland te krijgen, is vervolgens gekeken naar enkele recente studies uit omliggende landen (België, Verenigd Koninkrijk, Frankrijk).

In België is onderzoek gedaan naar de aanwezigheid van enkele groepen detritivoren (plantenresten-eters: pissebedden & miljoenpoten) en carnivoren (kortschildkevers en loopkevers) in silvoarable agroforestry, op verschillende afstanden van boomstroken en in monocultuur velden (Pardon et al. 2019). Zowel het aantal als de diversiteit van detritivoren bleek hoger in en op enkele meters afstand van de bomenstroken dan in de controle velden, hoewel dit effect sterker was in maïs dan in wintergraan. Op het aantal carnivoren hadden de bomenstroken in dit onderzoek echter geen positief effect; alleen de diversiteit van loopkevers bleek iets verhoogd naast de boomstrook. Dit zou een logisch gevolg kunnen zijn van de grotere habitatdiversiteit in een agroforestry-systeem, waardoor zowel loopkevers kenmerkend voor het open landschap als boslandschap naast de boomstrook voor kunnen komen. De auteurs stellen bovendien dat de boomstroken mogelijk wel een belangrijke rol kunnen spelen als overwinteringsplaats voor carnivoren, maar dat ten tijde van het onderzoek (zomer 2015 en 2016) de kevers al het veld in gemigreerd waren. Dit is niet onderzocht. Uit dit onderzoek kan voorzichtig geconcludeerd worden dat agroforestry bijdraagt aan diversiteit van loopkevers.

Een uitgebreider onderzoek naar de diversiteit van insecten in agroforestry-systemen werd uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk (Staton et al. 2021a). Op twee biologische bedrijven en één gangbaar bedrijf, allen met

rijenteelt graan en appels, werd de aanwezigheid van insecten vergeleken in de akkerbouwstrook van de agroforestry velden en in een monocultuur veld. Het aantal soorten natuurlijke vijanden was niet hoger in de akkerbouwstroken dan in het monocultuur veld. Welke soorten natuurlijke vijanden voorkwamen, verschilde wel tussen de locaties. Bovendien bleken deze soorten andere functionele eigenschappen (zoals het stadium, larve of adult, waarin overwinterd wordt) te hebben. Wanneer de functionele eigenschappen van aanwezige natuurlijke vijanden vergeleken werden, bleek de diversiteit in functionele eigenschappen wel hoger in het agroforestry-systeem dan in de monocultuur. De auteurs stellen dat in agroforestry-systemen meer gespecialiseerde natuurlijke vijanden voor kunnen komen dan in monocultuur systemen, vanwege de jaarrond aanwezigheid van vegetatie en verminderde verstoring (bijv. door grondbewerking).

In een aanvullend onderzoek van dezelfde auteurs (Staton et al. 2021b) werd gekeken naar de impact van de ondergroei in de boomstrook. In en naast boomstroken waar de ondergroei regelmatig gemaaid werd, was de diversiteit van natuurlijke vijanden significant lager dan in boomstroken waar de ondergroei niet gemaaid werd (en dus tot bloei kwam).



Figuur 8. Links een agroforestry-systeem waar de ondergroei gemaaid wordt, rechts een agroforestry-systeem met ondergroei in bloei. Uit Staton et al. 2021b.

In Frankrijk werd de aanwezigheid van natuurlijke vijanden (vnl. loopkevers) vergeleken tussen wintergraan geteeld in rijenteelt vs. in monocultuur, met onderscheid tussen drie paar gangbaar en drie paar biologisch beheerde systemen (Boinot et al. 2020). De boomstroken bestonden op alle velden uit een mix van meerdere soorten, waaronder veldesdoorn, walnoot, vogelkers en wintereik. In de gangbaar beheerde systemen was het aantal en de soortendiversiteit van de predatoren duidelijk lager in de gewasstroken van het agroforestry veld dan in het monocultuur veld: dit kwam voornamelijk door hogere aanwezigheid van kleine, carnivore soorten in de monocultuur. In de biologisch beheerde systemen was het aantal predatoren juist hoger op het agroforestry veld, vooral vanwege een grotere aanwezigheid van zaad-etende en grotere, omnivore loopkevers.

Dezelfde auteurs vergeleken de overwintering van insecten in boomstroken en in de tussenliggende gewasstroken (Boinot et al. 2019). Natuurlijke vijanden bleken in grotere aantallen en diversiteit aanwezig in de boomstrook, terwijl de aantallen plaaginsecten juist hoger waren in de gewasstroken. Zeker grotere soorten loopkevers, die overwinteren in adulte fase, bleken afhankelijk van de boomstroken voor overwintering. Uit deze studies blijkt dat boomstroken zeker impact hebben op de aanwezigheid van natuurlijke vijanden, maar op sommige soorten is deze impact negatief en op sommige positief. Dit lijkt te maken te hebben met de manier waarop verschillende soorten natuurlijke vijanden overwinteren maar ook met het type beheer (biologisch of gangbaar). Boomstroken kunnen dus een belangrijke plek zijn voor overwintering van sommige soorten natuurlijke vijanden.

Vogels en zoogdieren

Onderzoek naar het effect van agroforestry op andere diergroepen, zoals (roof)vogels of zoogdieren, is beperkt. Sommige soorten in deze groepen zullen gewenst zijn in de landbouw (predatoren), andere soorten juist niet (herbivoren). In een onderzoek in Engeland bleek het totaal aantal kleine zoogdieren inderdaad hoger te zijn in agroforestry-systemen dan in volledige akkerbouwsystemen of bosbouwsystemen (Klaa et al. 2005). Of dit positieve of juist negatieve gevolgen had voor de gewassen, is echter onbekend. Voor akkerbouwers is dergelijk onderzoek wel interessant, ook omdat diverse effecten mogelijk zijn: enerzijds zou de aanleg van boomstroken kunnen leiden tot een toename van muizen, anderzijds zou daar een toename van roofvogels tegenover kunnen staan. Opnieuw is het uiteindelijke effect op gewasopbrengst lastig te voorspellen.

3.3.2 Natuurlijke plaagbestrijding in fruitbomen

Interessant voor de Zeeuwse context is niet alleen de potentie van agroforestry voor natuurlijke plaagbestrijding in akkerbouwgewassen, maar ook voor natuurlijke plaagbestrijding in de houtige gewassen (specifiek fruitbomen) van een agroforestry-systeem. De vraag is of natuurlijke plaagbestrijding significant beter is in fruitbomen geplaatst in een agroforestry-systeem, zoals rijenteelt, dan in fruitbomen geplaatst in een (monocultuur) boomgaard. Hier lijkt echter nog een hiaat te zijn in de huidige kennis. Binnen de scope van deze verkenning is één Europees onderzoek gevonden naar schade door ziekte en plagen in biologische appels in een agroforestry-systeem versus een monocultuur boomgaard (Smith et al. 2014). Schade door de belangrijkste ziekte, schurft, bleek significant lager in het agroforestry-systeem en de opbrengst iets hoger. Natuurlijk worden verschillen in ziekte- en plaagdruk in fruitbomen tussen agroforestry en monocultuur systemen niet alleen beïnvloed door de aanwezigheid van functionele agrobiodiversiteit, maar mogelijk (waarschijnlijk) nog meer door verschillen in afstanden tussen bomenrijen, het aantal verschillende rassen dat geteeld wordt, microklimaat-effecten, etc.

Fruitbomen in een agroforestry-systeem zijn dan weliswaar redelijk nieuw, de fruitteelt in Nederland heeft al jarenlange ervaring met windsingels rondom boomgaarden. In een oude, maar uitgebreide teelthandleiding voor peren (Wertheim. 1990) staat het effect van het landschap en windsingels op een perenboomgaard beschreven. Soorten in windsingels kunnen plagen aantrekken, zoals bladluis, maar op hun beurt trekken deze plagen ook weer legio natuurlijke vijanden aan, zoals wantsen, parasieten van bladmineerders, lieveheersbeestjes, sluipwespen en zweefvliegen. Afhankelijk van de plaagsoorten en natuurlijke vijanden kunnen beide soorten 'overspringen' op de fruitbomen en daar schadelijk respectievelijk nuttig zijn. Op vogelkers zit bijvoorbeeld vaak de vogelkersluis. Hier komen veel natuurlijke vijanden op af, en als de luis in juni migreert naar grassen, kunnen de natuurlijke vijanden bladluizen op de fruitbomen bestrijden. Daarnaast kunnen windsingels overwinteringsplekken bieden voor verschillende soorten natuurlijke vijanden, zoals oorwurmen en bepaalde sluipwespen (Wertheim. 1990).

Al met al, lijkt er best wat kennis over windsingels op fruitbomen beschikbaar, maar de toepassing naar fruitbomen in agroforestry-systemen ontbreekt. Dit biedt wel kansen vanwege een grotere afstand tussen fruitbomen. Vervolgonderzoek naar ziekten en plagen in fruitbomen geplaatst in agroforestry-systemen kan dus interessant zijn. Het is goed om hierbij de beschikbare kennis uit fruitteelt systemen mee te nemen.

3.4 Effecten op bestuiving

Bestuiving is, naast natuurlijke plaagbestrijding, een veelgenoemde dienst van functionele agrobiodiversiteit voor landbouwproductie. In Nederland is dierlijke bestuiving vooral relevant in de fruitteelt maar in enige mate ook in de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt (bijv. peulvruchten, pompoenen, courgettes, koolzaad) en de zaadteelt (kool, sla, peen, ui). Bovendien is gebleken dat een hogere diversiteit aan bestuivers leidt tot betere fruitproductie (Holzschuh et al. 2012) en dat ook in Nederland wilde bestuivers een significante rol spelen in zowel akkerbouwgewassen als fruitteelt (Scheper et al. 2014). Het is nuttig om de aanwezigheid van wilde bestuivers te ondersteunen, naast het plaatsen van gedomesticeerde insecten zoals honingbijen.

3.4.1 Aanwezigheid bestuivers in éénjarige gewassen

Onderzoek naar effecten van agroforestry op bestuiving in éénjarige gewassen, in gematigd (Europees) klimaat is nog schaars. In de enige huidige meta-analyse (Staton et al. 2019) zijn slechts drie studies gevonden waarin effecten van agroforestry op bestuivers worden gerapporteerd. Wel wordt in elk van deze studies een hogere aanwezigheid van bestuivers gevonden in agroforestry dan in monocultuur systemen.

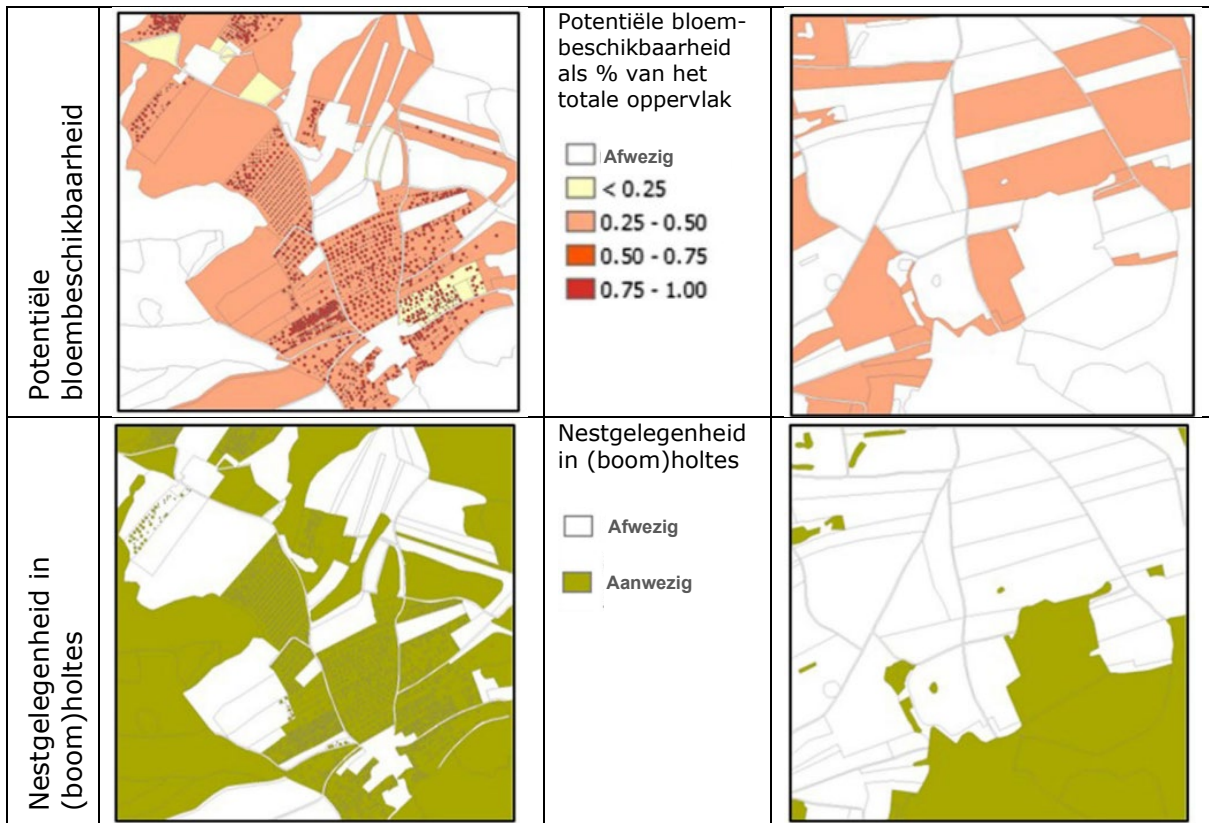
De meest recente en voor de Zeeuwse situatie meest relevante studie werd uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk door Varah et al. (2020). De aanwezigheid van bestuivers in zowel silvoarable als silvopastorale agroforestry-systemen werd vergeleken met een monocultuur referentie op hetzelfde bedrijf; alle systemen werden biologisch beheerd. Er bleken meer zweefvliegen, hommels en solitaire bijen voor te komen in de agroforestry-systemen dan in de monoculturen. Bovendien was de diversiteit aan solitaire bijen ook groter in de agroforestry-systemen. Er wordt niet genoemd in welke gewassen dit is onderzocht. Het positieve effect op bestuivers wordt door de auteurs in verband gebracht met de bloeiende ondergroei in de boomstroken. In de silvopastorale agroforestry-systemen waar de ondergroei werd begraaasd en dus niet in bloei kwam, werden duidelijk minder grote effecten op bestuivers gevonden.

Het effect van bloeiende stroken op bestuivers wordt al langer onderzocht. Opvallend genoeg werd in een recente meta-analyse uitgevoerd in gematigd klimaat geen eenduidig positief effect van bloeiende stroken op bestuivers gevonden (Albrecht et al. 2021): de verschillen tussen studies waren te groot om een significant effect te vinden. Wel bleek in velden met een bloeiende strook, de bestuiving af te nemen naarmate afstand tot de strook toe nam. Voor bloeiende stroken wordt vaak genoemd dat de samenstelling, het beheer en de leeftijd van de strook veel effect hebben op het nut van de strook voor wilde bestuivers (Scheper et al. 2015).

In dezelfde meta-analyse werd gekeken naar het effect van hagen op bestuiving, maar ook hierbij waren de verschillen tussen studies groot (Albrecht et al. 2021). Opnieuw kunnen verschillen in samenstelling een deel van deze verschillen in effect verklaren. Bovendien kan het omringende landschap een belangrijke rol spelen. Zo is gevonden dat bestuiving in aardbeien duidelijk hoger was naast hagen verbonden met lokaal bos, dan naast geïsoleerde hagen (Castle et al. 2019). Anderzijds nam het aantal bestuivers in hagen juist toe naarmate het aantal natuurlijke elementen in het landschap afnam (Garrat et al. 2017). Dit pleit voor het belang van (gemengde) hagen voor bestuivers, zeker in intensieve akkerbouwgebieden.

3.4.2 Bestuiving in fruitbomen

Ondanks het grote belang van bestuiving voor fruitteelt, is ook onderzoek naar bestuiving in fruitbomen in agroforestry-systemen zeer schaars. Studies waarin aantal of diversiteit van bestuivers gemeten werd in agroforestry-systemen vs. boomgaarden zijn binnen de scope van deze verkenning niet gevonden. Wel is in een Zwitserse studie de potentiële bestuiving vergeleken in een landschap met of zonder agroforestry (Kay et al. 2020). In een gebied waar nog traditionele, silvopastorale agroforestry (kersenbomen met grasland) voorkwam, werd op locaties met en zonder agroforestry een inventarisatie gemaakt van aanwezige habitats en op basis daarvan een inschatting gemaakt van bloembeschikbaarheid en nestgelegenheid, zowel in de grond als in (boom)holtes. In Figuur 9 is een voorbeeld weergegeven van deze inventarisatie, specifiek op bloembeschikbaarheid en nestgelegenheid in (boom)holtes.



Figuur 9. Kaart met inventarisatie van beschikbare bloemen en potentiële nestgelegenheid (holtes) op één van de agroforestry locaties (links) en één van de niet-agroforestry locaties (rechts) met een oppervlakte van 1 km². Uit: Kay et al. 2020.

Op alle agroforestry locaties was de potentiële bestuiving hoger dan op de niet-agroforestry locaties. Bovendien werd gemodelleerd wat de invloed zou zijn op bestuiving als de kersenbomen vervangen werden door niet-bloeiende bomen of geheel weggehaald zouden worden. Zeker voor bestuivers met kortere foerageerstanden (<200 meter), zoals de holte-nestelende soorten Ranonkelbij (*Chelostoma florissomne*) en Grote Klokjesbij (*Chelostoma rapunculi*), bleek aanwezigheid van bomen van groot belang voor de potentiële bestuiving in een landschap.

Het effect van omringend landschap op bestuiving in kersenboomgaarden werd al eerder onderzocht in Duitsland (Holzschuh et al. 2012). Voornamelijk bloembezoek door wilde bijen, maar niet door honingbijen, bleek gerelateerd aan het aandeel semi-natuurlijk habitat (kruidenrijk grasland, hagen) binnen een straal van 1 km rond de boomgaard. Wanneer het aandeel semi-natuurlijk habitat toenam van 20% naar 50%, bleek fruitzetting met wel 150% toe te nemen. Hoge niveaus van fruitzetting werden bovendien alleen gevonden in boomgaarden waar ook wilde bijen werden waargenomen, niet in boomgaarden met alleen honingbijen. Dit bevestigt zowel het economisch belang van bestuiving door wilde bijen als het belang van natuurlijk habitat in het landschap om de aanwezigheid van wilde bijen te ondersteunen.

In een eerdergenoemde Engelse studie is gekeken naar de aanwezigheid van bestuivers in appelbomen in een agroforestry-systeem met bloeiende ondergroei vs. gemaaide ondergroei (Staton et al. 2021b). Hier werd een significant positief effect van bloeiende ondergroei gevonden. Een positief effect van bloeiende stroken op bestuiving werd ook gevonden in fruitbomen in boomgaarden (Campbell et al. 2017).

De eerder benoemde teelthandleiding voor 'de peer' (Wertheim. 1990) beschrijft de effecten van windsingels op bestuivers en pollen- en nectarbeschikbaarheid, en met name welke bomen veel bruikbaar stuifmeel produceren. Elzen vormen bijvoorbeeld veel stuifmeel in het voorjaar, maar daar komen geen insecten op af. Wilgen, en dan met name de katjes van mannelijke wilgen, trekken in het voorjaar juist veel hommels, bijen en roofwantsen aan.

3.5 Conclusies en opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse omstandigheden

3.5.1 Functionele agrobiodiversiteit in agroforestry-systemen

In de beschikbare literatuur worden zowel positieve als negatieve effecten van agroforestry op natuurlijke vijanden gevonden. Het exacte effect blijkt in ieder geval afhankelijk van de levenswijze van de natuurlijke vijand en de context (ontwerp, gewassen, bedrijfsmanagement, omgeving). De ondergroei van een boomstrook lijkt hierbij een grote rol te spelen. Over het geheel genomen zijn er wel aanwijzingen dat de (functionele) diversiteit aan natuurlijke vijanden vergroot kan worden met een agroforestry-systeem. De gevolgen hiervan op ziekte- en plaagdruk in de gewassen en uiteindelijke gewasopbrengst is in agroforestry-systemen in gematigd klimaat nog niet onderzocht.

Effecten van agroforestry op bestuivers zijn minder onderzocht; zowel onderzoek naar de aanwezigheid van bestuivers als naar gevolgen voor gewasopbrengst is schaars. De eerste aanwijzingen zijn positief, maar wijzen vooral op het nut van bloeiende ondergroei in de boomstrook en van natuurlijke elementen in het omringende landschap.

Agroforestry kan op vele manieren een effect hebben op functionele agrobiodiversiteit: door natuurlijk habitat in een landschap te verbinden, door het bieden van voedsel en schuilplaatsen of als fysieke barrière voor drift van gewasbeschermingsmiddelen. In de huidige literatuur zijn deze verschillende werkingsmechanismen nog niet apart geanalyseerd.

3.5.2 Opmerkingen t.a.v. de Zeeuwse omstandigheden

Onderzoek naar functionele agrobiodiversiteit in Zeeland

Op dit moment is er nog geen (wetenschappelijke) literatuur gepubliceerd met gekwantificeerde (meetbare) effecten van agroforestry op functionele agrobiodiversiteit in Nederland, laat staan specifiek in Zeeland. Wel vinden in Zeeland en nabijgelegen gebieden zoals de Hoeksche Waard al langere tijd andere onderzoeken en projecten rondom functionele agrobiodiversiteit plaats (bijv. 'FABulous Farmers', 'FAB Nisse' en binnen 'LivingLab Schouwen-Duiveland'). Hierin zijn en worden bijvoorbeeld effecten van akkerranden of aangepast maaibeheer onderzocht. Onderzoeken naar akkerranden kunnen een indicatie geven voor de functies die de ondergroei van agroforestry kan vervullen. Onderzoeken naar houtige landschapselementen zoals heggen en hagen kunnen aanwijzingen opleveren over de specifieke effecten van houtige gewassen op functionele agrobiodiversiteit.

Enkele interessante conclusies uit de projecten in Zeeland zijn dat akkerranden inderdaad een positief effect kunnen hebben op natuurlijke vijanden. Vooral bladluis in aardappels en graan lijkt hierdoor onderdrukt te kunnen worden; resultaten met trips in ui zijn wisselender (van Rijn et al. 2008; Huiting et al. 2020; Cammaert & Riemens. 2022). Effecten van akkerranden op bestuivers lijken ook positief. In één rapport wordt melding gemaakt van een hogere gewasopbrengst in bruine bonen door verhoogde bestuiving bij een bloeiende akkerrand (Cammaert & Riemens, 2022). In ieder geval hebben soortsaamenstelling en beheer (onkruidbeheersing, maaibeheer, zaaimoment, etc.) veel impact op het nut van de akkerrand voor de functionele agrobiodiversiteit. Bloeiende éénjarige akkerranden hebben vooral effect in de tweede helft van de zomer, voor vliegende natuurlijke vijanden zoals zweefvliegen. Meerjarige akkerranden zijn belangrijk als overwinteringsplaats voor kruipende soorten zoals loopkevers (van Rijn et al. 2011). Dit zou natuurlijke plaagbestrijding in het voorjaar kunnen stimuleren.

In aanvulling hierop wordt, mede op basis van de Zeeuwse projecten, van houtige elementen zoals struiken of hagen benadrukt dat deze het aanbod van nectar, stuifmeel of prooidieren in het voorjaar kunnen verhogen. Gevallen bladeren en takken (snoeiafval) kunnen een strooisellaag vormen, die samen met de bast extra overwinteringsplaats biedt (van Alebeek et al. 2011). Uit een korte modelstudie blijkt dat 5% houtige elementen in het landschap al tot hoge aantallen natuurlijke vijanden kan leiden (van Rijn. 2016). Vanzelfsprekend geldt dat opgepast moet worden met soorten die waardplant zijn voor plagen. Vogelkers staat bekend als waardplant voor perzikbladluis; gelderse roos, kardinaalmuts en sneeuwbal voor zwarte bonenluis;

en meidoorn is een mogelijke bron van bacterievuur, een probleem in de fruitteelt. Gunstig lijken in ieder geval gewone esdoorn, wilde kardinaalsmuts, hazelaar, sleedoorn en grauwe wilg (van Alebeek et al. 2011; van Rijn. 2014). Zowel voor akkerranden als voor houtige elementen geldt dat inheemse soorten meer biodiversiteitswaarde bieden dan exotische soorten en dat variatie in soorten belangrijk is.

In Nederlandse projecten waar gerichte maatregelen werden genomen ten behoeve van functionele agrobiodiversiteit (zoals aanleg van akkerranden) en waar vervolgens de aanwezigheid van plaaginsecten gemonitord werd en de resultaten direct gecommuniceerd werden met de agrarisch ondernemers, getuigen enkele ondernemers dat ze minder vaak gewasbeschermingsmiddelen hebben toegepast dan hun adviseur aanraadde of dan hun burendeden (van Rijn et al. 2008; Huiting et al. 2020). Er was namelijk bekend dat de plaagdruk laag was. Toch blijkt in de praktijk dat de toepassing van functionele agrobiodiversiteitsmaatregelen vaak afhankelijk is van de beschikbaarheid van subsidies. De kosten voor (chemische) gewasbescherming zijn (op dit moment) vele malen lager dan kosten voor de inrichting, beheer en behoud van akkerranden (waaronder een verkleind gewasoppervlak, zaaigoed, onderhoud en monitoring van plagen) (van Rijn et al. 2008; van Rijn et al. 2011).

Conclusies voor Zeeland

In het algemeen kan geconcludeerd worden dat de **potentie** van agroforestry om natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving te stimuleren, wel is bewezen. Ditzelfde is te concluderen met betrekking tot andere maatregelen gericht op functionele agrobiodiversiteit zoals akkerranden. De parallel tussen agroforestry en andere maatregelen is echter dat het exacte effect in een specifieke situatie nog niet te voorspellen is. Er zijn vele factoren die de uiteindelijke uitkomst beïnvloeden. Denk aan de verschillen tussen soorten gewassen, bomen of struiken; het beheer van ondergroei in de boomstrook; het beheer van de akkerbouwgewassen en het omringende landschap.

Op basis van de huidige kennis, is de kans het grootst om met agroforestry een positief effect te realiseren voor functionele agrobiodiversiteit in een biologisch systeem, met bloeiende ondergroei in de boomstroken en wanneer gekozen wordt voor inheemse houtige soorten, met voldoende variatie. Bovenal wordt aangeraden om onderzoek te stimuleren naar meer specifieke systemen, boomsoorten, gewassen, plagen en predatoren. Mogelijk onbedoelde negatieve effecten, zoals toename van slakken, moeten daarin ook meegenomen worden. Zeker voor Zeeuwse fruittellers biedt de gevonden literatuur nog weinig concrete handvaten om met agroforestry aan de slag te gaan en zou eerst meer onderzoek nodig zijn.

Mogelijk dat agroforestry voor Zeeuwse akkerbouwers een interessante manier kan zijn om permanente akkerranden een productieve functie te geven, bijvoorbeeld door fruit- of notenbomen te planten. Om beide functies (productiviteit en functionele agrobiodiversiteit) succesvol te combineren, moet goed nagedacht worden over een geschikt systeemontwerp en bijpassend beheer. Uit bestaande akkerranden-projecten kunnen lessen over de soortensamenstelling van ondergroei, zaaitijdstip en maaibeheer gehaald worden.

Alles bij elkaar genomen biedt de huidige kennis niet voldoende aanwijzingen om met agroforestry te starten vanwege het effect op functionele agrobiodiversiteit alleen. Het mogelijk gunstige effect op functionele agrobiodiversiteit kan wel één van meerdere redenen zijn om met agroforestry te starten. Bovendien kan agroforestry onderdeel zijn van een systeemaanpak om de landbouw weerbaarder te maken tegen ziekten en plagen. Hierbij zullen zaken als grondbewerking, ras- en gewaskeuze en de inzet en techniek van gewasbeschermingsmiddelen op elkaar afgestemd moeten worden. In een dergelijke integrale aanpak kunnen lokale en regionale overheden een belangrijke rol spelen door aanpassingen te doen op landschappelijk niveau, zoals aangepast maaibeheer of het aanleggen van bermstruweel.

4 Conclusies

Binnen deze verkenning is onderzocht wat de effecten van agroforestry kunnen zijn op het gebied van waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit. Uitgebreide conclusies per thema zijn al gegeven in de aparte hoofdstukken.

Wat betreft waterhuishouding, heeft agroforestry potentie om systemen weerbaarder te maken tegen extreem weer in de vorm van droogte of grote hoeveelheden neerslag. Met name het wind-remmende effect van boomstroken kan zorgen voor een lagere verdamping in de gewassen, waardoor er meer water beschikbaar blijft in tijden van droogte. Dit biedt zeker in Zeeland met veel open polders de nodige kansen. Wel moet er bij het ontwerp rekening gehouden worden met de concurrentie tussen boom en gewas, en loont het om te onderzoeken hoe deze concurrentie effectief gereduceerd kan worden. Daarnaast bieden boomstroken de mogelijkheid om waterinfiltratie en -berging te verbeteren, via een permanent en uitgebreid wortelsysteem en een verhoogd gehalte organische stof, wat de bodemstructuur kan verbeteren en zodoende de infiltratiecapaciteit kan verhogen.

Qua waterkwaliteit biedt agroforestry mogelijkheden om nutriënten uit diepere lagen op te nemen en daarmee uitspoeling te verminderen, maar ook afspoeling te reduceren indien geplant rond watergangen, al zijn beide effecten afhankelijk van boombichtheid. Effecten op verzilting lijken beperkt, al zijn er processen te verwachten die mogelijk enige verlichting kunnen geven.

Kijkend naar functionele agrobiodiversiteit, biedt agroforestry mogelijkheden om de effecten hiervan te verhogen, doordat ze meer diversiteit in habitat, voedselbronnen en schuilmogelijkheden in het systeem brengen. Zo bieden boomstroken kansen voor een betere overleving en overwintering van natuurlijke vijanden en betere pollen- en nectarvoorziening voor wilde bestuivers. In het agroforestry ontwerp zijn veel keuzes te maken om deze mogelijkheden beter te benutten. Zo lijkt de ondergroei in boomstroken een grote rol te spelen en kan het beste een gevarieerd aantal (inheemse) soorten worden aangeplant vanuit het perspectief van functionele agrobiodiversiteit. Als kanttekening moet echter geplaatst blijven worden dat effecten op natuurlijke plaagbestrijding en bestuiving erg contextafhankelijk zijn (zowel op bedrijfs- als landschappelijk niveau) en bovendien niet één op één te vertalen naar ziekte- en plaagdruk of gewasopbrengst.

Voor zowel waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit en functionele agrobiodiversiteit biedt agroforestry niet 'het pasklare antwoord' om alle problematiek hieromtrent te verhelpen. Wel toont deze verkenning aan dat agroforestry op al deze vlakken kansen biedt om een positieve bijdrage te leveren en daarmee onderdeel te zijn van de oplossingsrichting. Deze verkenning biedt handvatten om hiermee aan de slag te gaan. Voor de Zeeuwse context zou het interessant zijn om deze effecten verder te onderzoeken binnen een onderzoeksopzet en/of bij Zeeuwse ondernemers die agroforestry willen introduceren binnen hun bedrijfsvoering.

Literatuur

- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N. M., Tschumi, M., Blaauw, B. R., Bommarco, R., Campbell, A. J., Dainese, M., Drummond, F. A., Entling, M. H., Ganser, D., Arjen de Groot, G., Goulson, D., Grab, H., Hamilton, H., Herzog, F., Isaacs, R., Jacot, K., Jeanneret, P., ... Sutter, L. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23(10), 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- Arenas-Corraliza, M. G., López-Díaz, M. L., & Moreno, G. (2017). Lessons learnt: Cereal crops within walnut plantations in Mediterranean Spain. http://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP4_ES_Cereals_in_walnut_lessons_learnt.pdf
- Bayala, J., & Prieto, I. (2020). Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. *Plant and Soil*, 453(1), 17-28.
- Bentrup, G., Hopwood, J., Adamson, N. L., & Vaughan, M. (2019). Temperate agroforestry systems and insect pollinators: A review. *Forests*, 10(11), 14–16. <https://doi.org/10.3390/f10110981>
- Bianchi, F. J. J. A., Mikos, V., Brussaard, L., Delbaere, B., & Pulleman, M. M. (2013). Opportunities and limitations for functional agrobiodiversity in the European context. *Environmental Science and Policy*, 27, 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.12.014>
- Böhm, C., Domin, T., & Kanzler, M. (2020). Gewässerschutz durch Agroforstwirtschaft–Auswirkungen eines mit Agrarholz bestockten Gewässerrandes auf den Stickstoffaustrag in Oberflächengewässer. Loseblatt# 5 der Innovationsgruppe AUFWERTEN. https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/05_Gew%C3%A4sserschutz.pdf
- Boinot, S., Mézière, D., Poulmarc’h, J., Saintilan, A., Lauri, P. E., & Sarthou, J. P. (2020). Promoting generalist predators of crop pests in alley cropping agroforestry fields: Farming system matters. *Ecological Engineering*, 158(August), 106041. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106041>
- Boinot, S., Poulmarc’h, J., Mézière, D., Lauri, P. É., & Sarthou, J. P. (2019). Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: Implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 285, 106630. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106630>
- Cammaert, D., & Riemens, A. (2022). Eindrapportage FAB Nisse 2021. <https://www.poldernatuurzeeland.nl/Projecten/FAB-Nisse-2021>
- Campbell, A. J., Wilby, A., Sutton, P., & Wäckers, F. (2017). Getting more power from your flowers: Multi-functional flower strips enhance pollinators and pest control agents in apple orchards. *Insects*, 8(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/insects8030101>
- Castle, D., Grass, I., & Westphal, C. (2019). Fruit quantity and quality of strawberries benefit from enhanced pollinator abundance at hedgerows in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 275(January), 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.003>
- Dupraz, C., Liagre, F. (2008) *Agroforesterie, des arbres et des cultures*. 2ème édition. Editions France Agricole
- FAO. 1998. Chapter 2 : FAO Penman-Monteith equation. <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e06.htm>

-
- Fernández, M. E., Gyenge, J., Licata, J., Schlichter, T., & Bond, B. J. (2008). Belowground interactions for water between trees and grasses in a temperate semiarid agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 74(2), 185-197.
- Fuchs, L., Van der Meer, F., Schoutsen, M., Smit, E. (2021a). Verkenning naar de potentie van agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de provincie Zeeland. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 879. <https://edepot.wur.nl/568426>
- Fuchs, L., Schoutsen, M., Rombouts, P., Selin Norén, I. (2021b). Verkenning van de mogelijkheden van agroforestry in combinatie met akkerbouw in de provincie Zeeland met als uitgangspunt de Zeeuws Bosvisie en de daarin beschreven landschap-zoekgebieden. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 903. <https://edepot.wur.nl/567384>
- Garratt, M. P. D., Senapathi, D., Coston, D. J., Mortimer, S. R., & Potts, S. G. (2017). The benefits of hedgerows for pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 247(March), 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.048>
- Holzschuh, A., Dudenhöffer, J. H., & Tschardtke, T. (2012). Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. *Biological Conservation*, 153, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.032>
- Huiting, H., Allema, B., & de Jager, T. (2020). Resultaten FAB-randen in aardappel en zaaiui. <https://www.ltonoord.nl/belangenbehartiging/bewust-omgaan-met-biodiversiteit-energie-en-kringlopen/functionele-agrobiodiversiteit/project-updates/vijanden-hun-werk-goed-gedaan>
- Inurreta-Aguirre, H. D., Lauri, P. É., Dupraz, C., & Gosme, M. (2022). Impact of shade and tree root pruning on soil water content and crop yield of winter cereals in a Mediterranean alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 96(4), 747-757.
- Jacobs, S. R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., ... & Bellingrath-Kimura, S. D. (2022). Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 323, 109065.
- Kanzler, M., Böhm, C., Mirck, J., Schmitt, D., & Veste, M. (2019). Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry systems*, 93(5), 1821-1841.
- Kanzler, M., & Böhm, C. (2020). Agroforstliche Landnutzung als Anpassungsstrategie an den Klimawandel am Beispiel von Untersuchungen zum Verdunstungsschutz in Süd-Brandenburg. *BTU Cottbus*. https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/07_Verdunstungsschutz.pdf
- Kay, S., Kühn, E., Albrecht, M., Sutter, L., Szerencsits, E., & Herzog, F. (2020). Agroforestry can enhance foraging and nesting resources for pollinators with focus on solitary bees at the landscape scale. *Agroforestry Systems*, 94(2), 379–387. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00400-9>
- Klaa, K., Mill, P. J., & Incoll, L. D. (2005). Distribution of small mammals in a silvoarable agroforestry system in Northern England. *Agroforestry Systems*, 63(2), 101–110. <https://doi.org/10.1007/s10457-004-1110-0>
- Leuschner, C., Ellenberg, H. (2017). Forest Edges, Scrub, Hedges and Their Herb Communities. In: *Ecology of Central European Forests*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43042-3_11
- Majaura, M., & Freese, D. (2021). Nachhaltige Produktivität und Wasserverfügbarkeit in Agroforstsystemen: der Einfluss von Gehölzstreifen bei zwei Kulturen in den trockenen Sommern 2019 und 2020. https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/10/10_Majaura_Poster_ForumAFS-online.pdf

-
- Markwitz, C., Knohl, A., & Siebicke, L. (2020). Evapotranspiration over agroforestry sites in Germany. *Biogeosciences*, 17(20), 5183-5208.
- Nelissen, V., Coussement, T., Pardon, P., Reubens, B. (2018). Projectrapport: Effect van agroforestry op organische stof en nutriënten. *Agroforestry Vlaanderen*.
https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/images/Agroforestry/20180614-Projectrapport_Effect-van-AF-op-OS-en-nutri%C3%ABnten.pdf
- Palma, J. H. N., Graves, A. R., Bunce, R. G. H., Burgess, P. J., De Filippi, R., Keesman, K. J., ... & Herzog, F. (2007). Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, ecosystems & environment*, 119(3-4), 320-334.
- Pardon, P., Reheul, D., Mertens, J., Reubens, B., De Frenne, P., De Smedt, P., Proesmans, W., Van Vooren, L., & Verheyen, K. (2019). Gradients in abundance and diversity of ground dwelling arthropods as a function of distance to tree rows in temperate arable agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 270-271, 114-128. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.017>
- Paris, P., Lauteri, M., Ciolfi, M., Chiocchini, F., Leonardi, L., Cherubini, M., ... & Burgess, P. (2017). Lessons learnt: Trees for timber with arable crops in Italy.
https://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP4_I_Poplar_lessons_learnt.pdf
- Pumariño, L., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Kaartinen, R., Barrios, E., Muchane, M. N., Midega, C., & Jonsson, M. (2015). Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*, 16(7), 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.08.006>
- Scheper, J. A., van Kats, R. J. M., Reemer, M., & Kleijn, D. (2014). Het belang van wilde bestuivers voor de landbouw en oorzaken voor hun achteruitgang. *Alterra-rapport 2592*. <https://edepot.wur.nl/328035>
- Scheper, J., Bommarco, R., Holzschuh, A., Potts, S. G., Riedinger, V., Roberts, S. P. M., Rundlöf, M., Smith, H. G., Steffan-Dewenter, I., Wickens, J. B., Wickens, V. J., & Kleijn, D. (2015). Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1165-1175. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12479>
- Sileshi, G., Schroth, G., Rao, M. R., & Girma, H. (2008). Weeds, diseases, insect pests, and tri-trophic interactions in tropical agroforestry. In *Ecological Basis of Agroforestry* (Issue January, pp. 73-94).
<https://doi.org/10.1201/9781420043365.ch5>
- Smith, J., Girling, R., Wolfe, M., Pearce, B., Vendelbo, N., & Hoogendoorn, A. (2014). Agroforestry: integrating apple and arable production as an approach to reducing copper use in organic and low-input apple production. *Agriculture and the Environment X: Delivering Multiple Benefits from Our Land: Sustainable Development in Practice*. 15-16 April., 1(289497), 278-284.
- Staton, T., Walters, R. J., Smith, J., Breeze, T. D., & Girling, R. D. (2021a). Evaluating a trait-based approach to compare natural enemy and pest communities in agroforestry vs. arable systems. *Ecological Applications*, 31(4). <https://doi.org/10.1002/eap.2294>
- Staton, T., Walters, R. J., Smith, J., & Girling, R. D. (2019). Evaluating the effects of integrating trees into temperate arable systems on pest control and pollination. *Agricultural Systems*, 176(August), 102676. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102676>
- Staton, T., Walters, R., Smith, J., Breeze, T., & Girling, R. (2021b). Management to promote flowering understoreys benefits natural enemy diversity, aphid suppression and income in an agroforestry system. *Agronomy*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy11040651>
- Sudmeyer, R., Bicknell, D., & Coles, N. (2007). Tree windbreaks in the wheatbelt.

-
- van Alebeek, F., Schaap, B., Willemse, J., & van Rijn, P. (2011). FAB en omgeving. <https://edepot.wur.nl/188872>
- van Rijn, P. C. J. (2014). Which shrubs and trees can conserve natural enemies of aphids in spring? IOBC-WPRS Bulletin, 100, 137–140.
- van Rijn, P. C. J. (2016). Landschapscompletering voor een betere plaagbeheersing. Landschap, 33, 41–43.
- van Rijn, P., van Alebeek, F., den Belder, E., Wäckers, F., Buurma, J., Willemse, J., & van Gurp, H. (2008). Functional agro biodiversity in Dutch arable farming: results of a three year pilot. IOBC / WPRS Bulletin, 34, 125–128.
- van Rijn, P., Willemse, J., & van Alebeek, F. (2011). Voor Natuurlijke Plaagbeheersing. In FAB en akkerranden voor natuurlijke plaagbeheersing. <https://edepot.wur.nl/188870>
- Varah, A., Jones, H., Smith, J., & Potts, S. G. (2020). Temperate agroforestry systems provide greater pollination service than monoculture. Agriculture, Ecosystems and Environment, 301(May), 107031. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107031>
- Vityi, A., Kiss Sziget, N., Schettler, P., & Marosvölgyi, B. (2017). Lessons learnt: Alley cropping in Hungary. Contribution to Deliverable, 4. https://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP4_HU_Alley_cropping_lessons_learnt.pdf
- Voortman, R. L. (1977). Houtwallen in het landschapsonderzoek van Enschede. *Nederlands bosbouw tijdschrift*.
- Wertheim, S. J. (1990). De peer (No. 22). Proefstation voor de Fruitteelt. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/468616>

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

Report WPR-OT 961

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, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 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.
