



De mogelijk geleverde diensten door agroforestry in gematigde klimaatzones en mogelijke uitdagingen en barrières voor de verdere ontwikkeling van agroforestry

Literatuurverkenning



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

De mogelijk geleverde diensten door agroforestry in gematigde klimaatzones en mogelijke uitdagingen en barrières voor de verdere ontwikkeling van agroforestry

Maureen Schoutsen¹, Heleen van Kernebeek², Marleen Plomp², Fogelina Cuperus¹, Isabella Selin-Norén¹, Ilse Groeneveld², Lennart Fuchs¹, Casper Krijnse Locker²

1 Wageningen Plant Research (WPR), Open Teelten

2 Wageningen Livestock Research (WLR)

Met medewerking van: Bram Bos (WLR) en Marcel Vijn (WPR)

Deze literatuurverkenning is uitgevoerd door Wageningen Plant Research en Wageningen Livestock Research en is een resultaat van de Publiek-Private onderzoeksprogramma's PPS Ontwikkeling Businessmodellen Agroforestry (LWV21.260) en PPS Agroforestry voor Klimaatpositieve zuivel en biodiversiteit (LWV21.072) en het Kennisbasis Programma KB-52 "Biodiversity and resilient ecosystems" (KB-52-000-004, 'Designing and monitoring biodiverse agroecosystems'). Deze projecten worden ondersteund door financiering van het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur.

Wageningen, mei 2025

Disclaimer:

Deze literatuurverkenning betreft regulerende functies van bomen en struiken in akkerbouw- en (melk)veehouderijsystemen en mogelijke barrières en lock-ins voor de adoptie van agroforestry door boeren. Voor het opstellen van dit document is geen gestructureerd literatuuronderzoek uitgevoerd en het document pretendeert niet compleet te zijn. De literatuurverkenning is in eerste instantie voor eigen doeleinden uitgevoerd tussen 2018 en 2024. Dit rapport bevat daarom ook, en veelal, verwijzingen naar minder recente literatuur.

Rapport WPR-OT-1159

Schoutsen, M., H. van Kernebeek, M. Plomp, F. Cuperus, I. Selin-Norén, I. Groeneveld, L. Fuchs, C. Krijnse Locker, 2025. *De mogelijk geleverde diensten door agroforestry in gematigde klimaatzones en mogelijke uitdagingen en barrières voor de verdere ontwikkeling van agroforestry; Literatuurverkenning*. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 1159.

Dit rapport is gratis te downloaden op 10.18174/694436

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK Lelystad; T 0320 29 11 11; 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-1159

Foto omslag: Jeroen Kruit

Inhoud

Woord vooraf	4
1. Introductie	5
1.1 Agroforestry: definitie	5
1.2 De status van agroforestry en onderzoek	6
1.2.1 Internationaal	6
1.2.2 Nederland	6
2. Levering diensten	8
2.1 Productiediensten	8
2.1.1 Voedsel en veevoer	8
2.1.2 Biograndstoffen.....	12
2.2 Regulerende & ondersteunende diensten	13
2.2.1 Waterkwaliteit en -regulatie	13
2.2.2 Luchtkwaliteit	14
2.2.3 Bodemkwaliteit en -vruchtbaarheid	14
2.2.4 Klimaatmitigatie en -adaptatie	15
2.2.5 Reguleren en controleren ziekte-, plaag- en onkruiddruk.....	17
2.2.6 Biodiversiteit	19
2.3 Overig.....	20
2.3.1 Landschapskwaliteit.....	20
2.3.2 Diergezondheid, dierenwelzijn en natuurlijk gedrag	21
3. Barrières & lock-ins	24
3.1 Sociaaleconomische lock-ins.....	24
3.1.1 Regelgeving en bestaand subsidiestelsel	24
3.1.2 Investerings, kosten en inkomsten.....	25
3.1.3 Kennis & management	28
3.1.4 Perceptie.....	28
3.2 Technische & agronomische lock-ins	30
3.2.1 Mechanisatie.....	30
3.2.2 Arbeid	31
3.2.3 Schaduwtolerantie éénjarige gewassen.....	32
Referenties	33

Woord vooraf

Onderzoekers van Wageningen University & Research (WUR) dragen onder andere via de PPS Ontwikkeling Businessmodellen Agroforestry (LWV21.260) en de PPS Agroforestry voor klimaatpositieve zuivel en biodiversiteit (LWV21.072) bij aan kennisontwikkeling en -verspreiding over toepassingen van agroforestry in de akkerbouw en veehouderij. Hiertoe ontwikkelden zij een factsheetreeks Agroforestry die te vinden is op de dossierpagina www.wur.nl/agroforestry. Deze literatuurverkenning presenteert een deel van het literatuuronderzoek dat ten behoeve van het schrijven van een aantal factsheets uit de factsheetreeks is uitgevoerd. Niet elke factsheet uit de factsheetreeks komt voort vanuit de bovengenoemde PPS-projecten en per factsheet is deels ook apart de literatuur verkend. Veel van de factsheets bevatten daarom (ook) een eigen literatuurlijst.

De literatuurverkenning is in eerste instantie voor eigen doeleinden uitgevoerd tussen 2018 en 2024. Dit rapport bevat daarom ook, en veelal, verwijzingen naar minder recente literatuur. In sommige paragrafen is een verwijzing van recente literatuur (uit 2025) toegevoegd, waar dit een eigen (WUR) publicatie betrof.

Er dient te worden opgemerkt dat in de zoektocht binnen de internationale literatuur naar de levering van ecosysteemdiensten door agroforestry, resultaten over voedselbossen niet opdoken. Dit heeft te maken met de internationale definitie van agroforestry (zie paragraaf 1.1). Er is door de onderzoekers niet specifiek gezocht naar (potentiële effecten van) voedselbossen.

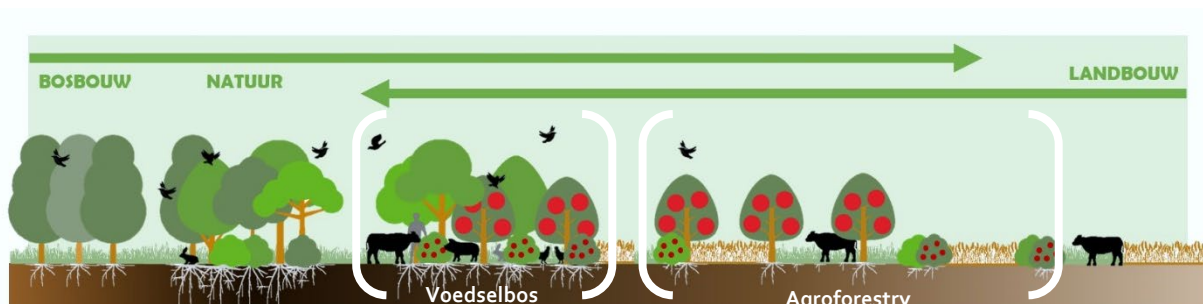
Deze literatuurverkenning heeft niet ten doel om alle bestaande literatuur over agroforestry in volledigheid weer te geven, maar slechts om de breedte van regulerende en ondersteunende diensten van agroforestry in beeld te brengen en om een indruk te geven van de barrières en lock-ins die adoptie van agroforestry door agrariërs kunnen belemmeren.

1. Introductie

1.1 Agroforestry: definitie

Er bestaan verschillende definities van agroforestry. De meest eenvoudige definitie beschrijft agroforestry als het combineren van bomen en landbouwgewassen op hetzelfde perceel (FAO, 2022). In de eerste uitgave van het wetenschappelijke tijdschrift *Agroforestry Systems* wordt agroforestry als volgt omschreven: *“Agroforestry is een verzamelnaam voor alle landgebruikssystemen en -praktijken waarbij houtige meerjarige planten bewust worden gebruikt op hetzelfde land waar landbouwgewassen worden geteeld of veehouderij plaatsvindt. Dit kan óf gelijktijdig óf na elkaar op hetzelfde land plaatsvinden. Het begrip agroforestry houdt ook in dat er ecologische en/of economische wisselwerking plaatsvindt tussen de houtige en niet-houtige onderdelen van het landgebruikstelsel. Deze wisselwerking kan zowel positief als negatief uitpakken, en kan over de tijd veranderen”* (Lundgren, 1982). In een meer recente omschrijving spreekt de Europese Agroforestry Federatie (2016) over agroforestry als het integreren van houtige vegetatie, gewassen en/of vee op hetzelfde land, waarbij de houtige vegetatie zowel midden in het perceel, als aan de rand van het perceel kan staan bij wijze van heg (EURAF, 2016). Kortom, binnen de internationale definitie bestaat agroforestry uit een aantal componenten: de integratie van houtige vegetatie in meerdere hoogtelagen (eerste component), waarvan de onderste laag een landbouwproduct levert zoals gewassen of gras (tweede component), die in veeteeltsystemen gegeten kunnen worden door vee (Pantera et al., 2018). In Nederland scharen we voedselbossen, landbouwsystemen met alleen maar meerjarige plantensoorten, ook onder agroforestry (Agroforestry Netwerk Nederland, 2023).

Er kan verwarring ontstaan tussen de concepten ‘voedselbossen’ en ‘agroforestry’. Wat de concepten met elkaar gemeen hebben is het interactieve en integrale karakter van het systeem. Voedselbossen beogen een hoge mengingsgraad van houtige gewassen; het is een door de mens ontworpen systeem naar voorbeeld van een natuurlijk bos, opgebouwd uit meerdere lagen. Een voedselbos valt onder agroforestry, maar er zijn vormen van agroforestry die afwijken van voedselbossen. Andere vormen van agroforestry kunnen verschillende verschijningsvormen hebben en variëren van struiken als voederboom voor vee op grasland tot rijenteeltsystemen (‘alley cropping’) op grasland of in akkerbouw- of vollegrondsgroenteteeltsystemen (Agroforestry Netwerk Nederland, 2023). In figuur 1 wordt de gradatie in menging van bos en akker grafisch weergegeven.



Figuur 1 Gradaties in menging bos en akker. Bron: Stichting van Akker naar Bos, n.d.

Agroforestry systemen kunnen worden geclassificeerd aan de hand van hun structuur, hun functie, hun socio-economische functie en ecologische eigenschappen (Nair et al., 2021). Wanneer we kiezen voor een structurele classificatie, onderscheiden we de volgende systemen (Nair et al., 2021):

- Agrisylvicultuur systemen (agroforestry voor akkerbouwers, ook wel silvoarable systemen genoemd) – de teelt van akkerbouwgewassen in combinatie met de aanplant/behoud van bomen op hetzelfde perceel.
- Silvopastorale systemen (agroforestry voor veehouders) – grasland in combinatie met de aanplant/behoud van bomen op hetzelfde perceel. Op het grasland kan vee grazen.
- Agrosilvopastorale systemen (agroforestry met menging van veeteelt en akkerbouw) – teelt van akkerbouwgewassen in combinatie met grasland en aanplant van bomen in hetzelfde systeem.

Los van deze structurele classificatie van andere vormen van agroforestry dan voedselbossen, is in Nederland de volgende definitie van het begrip 'voedselbos' vastgelegd:

Een voedselbos is een door mensen ontworpen productief ecosysteem naar het voorbeeld van een natuurlijk bos, met een grote diversiteit aan meerjarige, houtige soorten, waarvan delen (vruchten, zaden, bladeren, stengels, etc.) voor de mens als voedsel dienen (Green Deal Voedselbossen, n.d.).

1.2 De status van agroforestry en onderzoek

1.2.1 Internationaal

De term agroforestry is geïntroduceerd door John Bene (International Development Research Centre - IDRC), in een studie in 1975 over de onderzoeksprioriteiten van het IDRC voor de tropen. De studie was het begin van het International Council For Research in Agroforestry (ICRAF), het huidige World Agroforestry Centre. De introductie van de term *agroforestry* heeft een eeuwenoude landbouwpraktijk (het combineren van bomen met gewassen en/of vee) getransformeerd tot een disciplinair onderzoek (Nair et al., 2021). Voor een lange periode focuste het onderzoek zich op onderzoeksvragen in tropische klimaatzones. In 1991 is het AFTA (Association For Temperate Agroforestry) opgericht ter promotie van agroforestry in Noord-Amerika en in 2011 volgde Europa met de oprichting van de European Agroforestry Federation (EURAF). Individuele EU landen volgden met platforms ter bevordering van agroforestry kennis en ontwikkeling (o.a. Engeland, Frankrijk, België en Nederland) (Louah et al., 2017). Naast deze platforminitiatieven ontstaat een groeiende interesse voor agroforestry systemen binnen het agrarische- en bosbeleid van de EU. In de loop der jaren heeft de EU diverse projecten gepromoot voor het bevorderen van agroforestrypraktijken, waaronder bijvoorbeeld SAFE (2001-2005; Silvoarable Agroforestry for Europe), AGFORWARD (2014-2017; AGroFOREstry that Will Advance Rural Development), SCAOPEST (2012-2018; Pesticide-free Agroforestry Cropping System), AFINET (2017-2019; Agroforestry Innovation Networks), FARM LIFE (2018-2023; Farming the Future – Building Rural Networks for Climate-Adaptive Agriculture), AGROMIX (2020-2024; AGROforestry and MIXed farming systems), DigitAF, 2023-2026; DIGItal Tools to boost AGroFOREstry) en AF4EU (2023-2025; Agroforestry Business Model Innovation Network). Agroforestry is één van de 'ecological focus areas' in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid van de EU (Common Agricultural Policy (CAP) en wordt benoemd als maatregel binnen de EU Biodiversiteitsstrategie voor 2030 en de EU-Bossenstrategie voor 2030, welke onderdeel vormen van de Europese Green Deal (EPRS, 2020). Daarnaast wordt het ondersteund als duurzame landbouwmanagementstrategie door het Internationaal Klimaatpanel van de Verenigde Naties (United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)).

1.2.2 Nederland

Reeds in 1952 verrichtte de toenmalige Landbouw Universiteit Wageningen onderzoek naar de reactie van gras nabij houtopstanden (Everts, 1991; Everts, 1994). Uitkomsten van het onderzoek lieten een opbrengstderving van gras onder invloed van populieren zien van 23%. In 1996 en 1997 beschreef Roersch (1996; 1997) de resultaten van een mengteelt populieren, zomergerst, witlof, aardappels, suikerbiet en zwarte bes. Ook hier kwam opbrengstderving van akkerbouwgewassen ten gevolge van concurrentie om licht, water en nutriënten van populieren aan het licht. In 1989-1992 volgde een proef op De Dorschkamp nabij Steenwijk met een mengteeltsysteem van populier en gras (Willems, 1989). De noodzaak voor het onderzoek van destijds werd omschreven als: *"De landbouwproductie staat onder druk in de EG (Europese Gemeenschap), extensivering wordt een serieus bekeken alternatief. Mengteelt kan extensivering van landbouwproductie en verhoging van houtproductie verenigen"*. Alterra (opgegaan in Wageningen Environmental Research (WEnR)) heeft agroforestry begin jaren 2000 op de kaart gezet. Van 1999 – 2005 is door Alterra onderzoek gedaan naar de economische en technische effecten van multifunctionele beplantingen, in het kader van het project *'Meervoudig Duurzaam Landgebruik'*. Op acht bedrijven in de omgeving van Winterswijk zijn proefvelden aangelegd met walnoot, kastanje en kers in combinatie met gras, met een omvang van in totaal 10 hectare. In 2003 en 2005 zijn bijeenkomsten georganiseerd door Alterra over "boeren met bomen" (Oosterbaan et al., 2005). In 2006 is het kennisnetwerk BoomPlan opgericht en in de periode 1997-2007 bestond de Stichting Boslandbouw. Het Louis Bolk Instituut (LBI) heeft twee praktijknetwerken rondom agroforestry opgericht: Praktijknetwerk

Voederbomen (afgerond in 2014) en Bomen voor Buitenkippen (2012-2015). Hiermee is in die jaren expertise opgebouwd met voornamelijk het silvopastorale agroforestry systeem (van Eekeren et al., 2014; Bestman, 2015; Timmermans & Bestman, 2016).

Om de toepassing van agroforestry in Nederland te bevorderen werd in 2014 de Stichting Agroforestry Nederland opgericht (partners: LBI, EURAF, Stichting Duinboeren, Stichting Probos, Stichting Heg en Landschap, Stichting Van Akker Naar Bos en Anne Oosterbaan) en in 2015 volgde de Stichting Van Akker Naar Bos. Stichting Agroforestry Nederland toonde vanaf 2017 een aantal projecten en de ontwikkeling van diverse netwerken, waaronder de eerste agroforestry netwerken Zuid-Nederland (LBI en Duinboeren) en Agroforestry Netwerk Brabant (vanaf 2017).

In 2018 vond het Europese agroforestry (EURAF) congres plaats in Nijmegen. Dit lijkt het aantal projecten en onderzoekers naar agroforestry in Nederland hebben doen toenemen. Zo startte in 2019 Wageningen University & Research (WUR) Open Teelten met de Publiek-Private Samenwerkingsprogramma (PPS) Agroforestry (2019-2022). In 2020 heeft LBI samen met Rombouts Agroecologie in opdracht van LNV het Masterplan Agroforestry uitgebracht (Luske et al., 2020); een advies voor het realiseren van een schaa sprong van agroforestry in Nederland. Rond deze tijd zijn vele initiatieven gestart van diverse organisaties. Zo publiceerden Boosten en Snoep in 2021 de methodiek voor het vaststellen van koolstofvastlegging bij de aanleg van nieuw bos, boomweides en lijnvormige beplanting buiten bosverband (Boosten & Snoep, 2021) en verscheen in 2022 een rapportage van een verkenning naar de koolstofcredits (Reichgelt et al., 2022). Daarnaast onderzocht de stichting Centrum voor Landbouw en Milieu (CLM) de effecten van bomen op het melkveebedrijf (van Well et al., 2022). In 2022 volgden twee nieuwe PPS-projecten bij WUR Livestock Research en WUR Open Teelten: 'Agroforestry voor Klimaatpositieve Zuivel en Biodiversiteit' en 'Verdienmodellen Agroforestry' die lopen van 2022-2025 (PPS Agroforestry Voor Klimaatpositieve Zuivel & Biodiversiteit - WUR, n.d.; PPS Ontwikkeling Businessmodellen Agroforestry - WUR, n.d.).

Een belangrijke ontwikkeling voor agroforestry in Nederland was de oprichting van het Agroforestry Netwerk Nederland in december 2021 (Agroforestry Netwerk Nederland, n.d.). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en LNV zetten samen met een kerngroep organisaties in korte tijd dit netwerk op de kaart. Het rapport van Prins et al. (2023) bevat een overzicht van agroforestry onderzoeksprojecten vanaf 2008, doet aanbevelingen voor verder onderzoek naar agroforestry in Nederland, en voorziet een rol voor het Agroforestry Netwerk Nederland om samenhang in onderzoek en afstemming tussen onderzoek te realiseren (Prins et al., 2023).

Het onderzoek naar voedselbossen startte reeds in 2009, met de oprichting van Voedselbos Ketelbroek. In 2017 volgde de Green Deal Voedselbossen en werden verschillende onderzoeksprojecten uitgevoerd (waaronder 'Wetenschapswinkelproject Ecovrededgaard', 2019/2019, 'POP3 Vier voedselbosthema's voor landgoed Welna', 2018, en 'POP3 Meet je Voedselbosogst', 2020 en de PPS Wetenschappelijke bodemvorming onder de voedselbosbouw).

Binnen de WUR vakgroep Plant Production Systems van Wageningen University & Research is aandacht besteed aan de toepassingen van agroforestry in het tropisch klimaat. Daarnaast wordt er ieder jaar een vak agroforestry 2.0 gegeven door de vakgroep Forest Ecology and Forest Management. Dit vak richt zich op de ontwikkeling van kennis en begrip over de ecologische, economische, institutionele en beleidskanten van agroforestry systemen over de hele wereld (WUR, 2022a). In 2024 is de onderwijsfilm 'Bomen op mijn land' in première gegaan, waarin het potentieel van agroforestry in West-Europa wordt benadrukt (Agroforestry Netwerk Nederland, n.d.).

2 Levering diensten

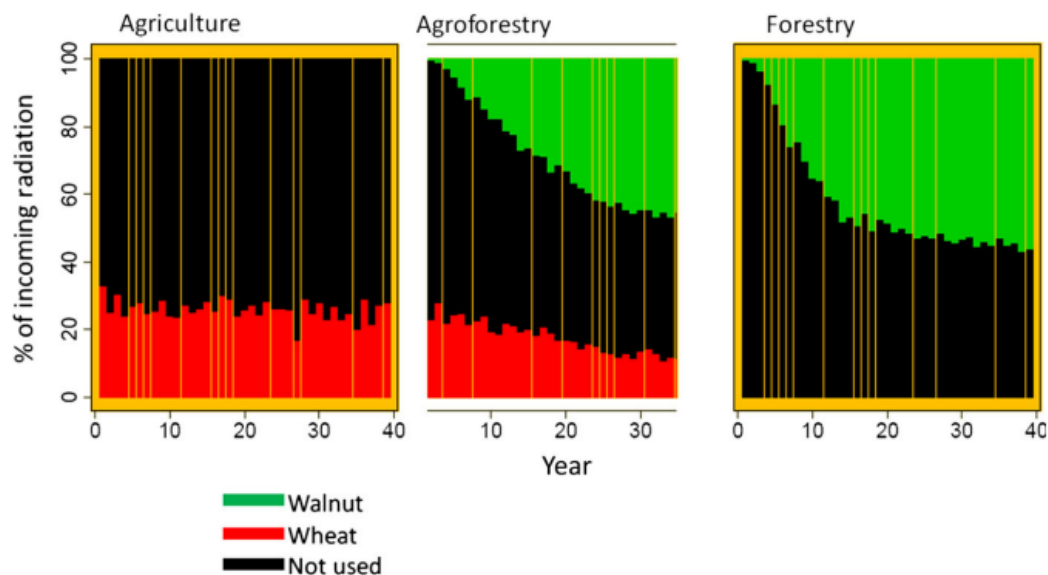
Een succesvol agroforestry systeem produceert voedsel voor mens en dier en levert daarnaast hout en overige biomassa, die kunnen worden gebruikt voor diverse doeleinden (Ickowitz et al., 2022). Daarnaast levert een succesvol agroforestry systeem diverse ecosysteemdiensten, zoals regulatie van bodem-, lucht- en waterkwaliteit, regulatie van het micro- en regionale klimaat, koolstofvastlegging, reguleren en controleren van ziekte-, plaag-, en onkruiddruk (Tsonkova et al., 2012; Cardinael et al., 2015; Pardon et al., 2017). Door het leveren van deze ecosysteemdiensten, maar ook door het bieden van (alternatieve) habitat en voedsel kan een succesvol agroforestry systeem ook een bijdrage leveren aan het in stand houden en verbeteren van biodiversiteit (Jose, 2012). Tot slot kan agroforestry bijdragen aan dierenwelzijn en landschapskwaliteit. In dit hoofdstuk wordt de potentie van agroforestry voor het leveren van deze diensten beschouwd.

2.1 Productiediensten

2.1.1 Voedsel en veevoer

Het combineren van houtige, meerjarige gewassen (bomen en/of struiken) met eenjarige gewassen (akkerbouw, groenteteelt of gras) is een vorm van '*intercropping*' (gedefinieerd als het gelijktijdig telen van twee of meer gewassen op één perceel voor een significant deel van het groeiseizoen (Willey, 1979)). Intercropping kan de vorm aannemen van rij-, strook- en/of mengteelt. Intercropping is in diverse agrarische landschappen geïntroduceerd als alternatief voor gangbare productiesystemen, onder andere als antwoord op toenemende intensivering van de landbouw en ontbossing (Rivest et al., 2009; Laroche et al., 2019).

In de afgelopen decennia is een omvangrijke hoeveelheid onderzoek verricht naar eenjarige intercropping systemen (bijvoorbeeld tarwe-erwt; gerst-veldboon) en de bijbehorende effecten op productiviteit (Willey, 1979; Zhang & Li, 2003; Bedoussac et al., 2015). Het productiesucces (toename opbrengst/ha en gewaskwaliteit) van eenjarige gewascombinaties is herhaaldelijk en significant aangetoond (Jensen, 1996; Hauggaard-Nielsen et al., 2008; Bedoussac & Justes, 2010; Li et al., 2013; Bedoussac et al., 2015; Yu et al., 2015). Het succes van intercropping kan worden verklaard aan de hand van niche differentiatie in ruimte (bv verschillende wortelpatronen) en tijd (verschillende groeiperioden) (Tilman & Snell-Rood, 2014). Hierop volgt evident de algemeen geldende hypothese in agroforestry onderzoek: bomen gebruiken of '*onderscheppen*' bronnen (licht, water, nutriënten), en wanneer deze bronnen in afwezigheid van bomen niet door het eenjarige gewas worden benut (i.e. wanneer geen competitie plaats vindt tussen bomen en het eenjarig gewas), zijn bomen en eenjarige gewassen complementair aan elkaar, wat resulteert in een productiever en efficiënter systeem (Cannell, 1996; Santiago-Freijanes et al., 2021). Dupraz & Liagre (2008) laten zien dat in een agroforestry systeem met tarwe en walnotenbomen een hoger percentage licht wordt benut door de som van bomen en gewassen dan in monoculturen van deze gewassen (figuur 2). De hogere efficiëntie als gevolg van deze complementariteit tussen bomen en eenjarige gewassen, laat zich vertalen naar een hogere Land Equivalent Ration (LER) (Santiago-Freijanes et al., 2021). De LER is een maat voor het aantal hectare monocultuur dat nodig is om eenzelfde hoeveelheid product te genereren als een hectare agroforestry. De LER voor silvoarable agroforestry systemen in Europa ligt tussen de 1.0 en 1.8 (Graves et al., 2007; Dupraz & Liagre, 2008).



Figuur 2 Het percentage inkomende zonlicht dat wordt gevangen door walnotenbomen (groen), tarwe (rood) of niet wordt gevangen (zwart) in een monocultuur van tarwe (links), een agroforestry systeem van tarwe met walnotenbomen (midden) en een monocultuur van walnoten (rechts). Bron: Dupraz & Liagre, 2008.

In vergelijking met de omvangrijke hoeveelheid literatuur aangaande eenjarige gewascombinaties en productieniveaus, is er relatief weinig bekend over productieniveaus van meerjarig-eenjarige gewascombinaties (agroforestry) in gematigde klimaatregio's (o.a. Noord-Amerika, Canada, Europa en China). De beschikbare literatuur loopt daarnaast uiteen in haar bevindingen (Cannell et al., 1996; Dupraz & Newman, 1997; Miller & Pallardy, 2001; Graves et al., 2007; Reynolds et al., 2007; Jose, 2009; Ehret et al., 2015; Artru et al., 2017). Diverse artikelen beschrijven een positief effect van agroforestry op productieniveaus. Zo beschrijft Dupraz (2004) een populier-tarwe agroforestry systeem in Zuid-Frankrijk met een LER (Land Equivalent Ratio) van 1,3, wat een 30% verhoogde (totale) gewasproductie in het agroforestry systeem betekent, in vergelijking met monocultuurpercelen tarwe en populier. Graves et al. (2007) heeft in drie landen (Spanje, Frankrijk en Nederland) een hypothetisch agroforestry systeem gemodelleerd met behulp van het Yield-SAFE model (Van der Werf et al., 2007) met boomedichtheden van 50 bomen ha⁻¹ en 113 bomen ha⁻¹ (40x5m en 22x4m). In het paper wordt een LER van 1 – 1,4 gevonden en wordt beredeneerd dat in succesvolle agroforestry systemen, totale opbrengsten (van hout en gewas) met 40% kunnen worden verhoogd, wanneer vergeleken met monoculturen van akkerbouw en bosbouw.

Thevathasan et al. (2004) beschrijft een 8,4% toename in gerst opbrengsten in het desbetreffende Canadese agroforestry systeem (Ontario) ten opzichte van een monocultuur gerst gewas. In laatstgenoemde studie is de opbrengst van het hout niet meegerekend, wat resulteert in een relatief gering positief effect.

Naast artikelen die een positief effect van agroforestry systemen op productieniveaus laten zien, zijn er ook artikelen die een negatief effect van agroforestry systemen op productieniveaus naar voren brengen (o.a. Newman et al., 1998; Reynolds et al., 2007; Ehret et al., 2015; Artru et al., 2017). Belangrijke notie hierbij is dat in deze studies de effecten van agroforestry systemen worden beschouwd vanuit de gewasproductie van het eenjarige gewas. Dit is een andere benadering dan het meten van de LER of de totale opbrengst van houtig en eenjarig gewas gecombineerd (Dupraz, 2004; Graves et al., 2007). Newman et al. (1998) beschrijft een significante reductie in mais en veldboon opbrengsten van respectievelijk 37 en 32%, wanneer mais en veldboon gecombineerd worden in een agroforestry systeem met 7 jaar oude Paulownia bomen (China, 132 bomen ha⁻¹, 15x5m). Reynolds et al. (2007) beschrijft resultaten van mais- en soja opbrengsten in het Canadese agroforestry systeem. Het gaat hier om een in 1987 aangeplant agroforestry systeem (Ontario, Canada) met populier, esdoorn, mais, gerst en sojabonen. De bomen zijn geplant in rijen met een rij afstand van 12,5 en 15 m. De bomen zijn geplaatst in 1 m brede braakliggende stroken (8,0 en 6,7% van het landoppervlak). De afstand in de rij bedraagt 6 m, wat resulteert in een boomedichtheid van 111 - 133 bomen ha⁻¹. Na 10 jaar zijn de braakliggende stroken verbreed tot 2 m. In 1997 is de sojabonenproductie in het

agroforestry systeem verlaagd met 42 en 36%, in 1998 is de productie verlaagd met 38 en 5% (populier en esdoorn respectievelijk), wanneer vergeleken met het referentie monocultuursysteem. Wat resulteert in een gemiddeld lagere opbrengst van 20-40%, in vergelijking met het referentie monocultuursysteem. De maisproductie was in 1997 verlaagd met 17 en 26%, in 1998 was de productie verlaagd met 48% en 6% (populier en esdoorn respectievelijk) wat resulteert in een gemiddeld lagere opbrengst van 20-25% in vergelijking met het referentie monocultuursysteem.

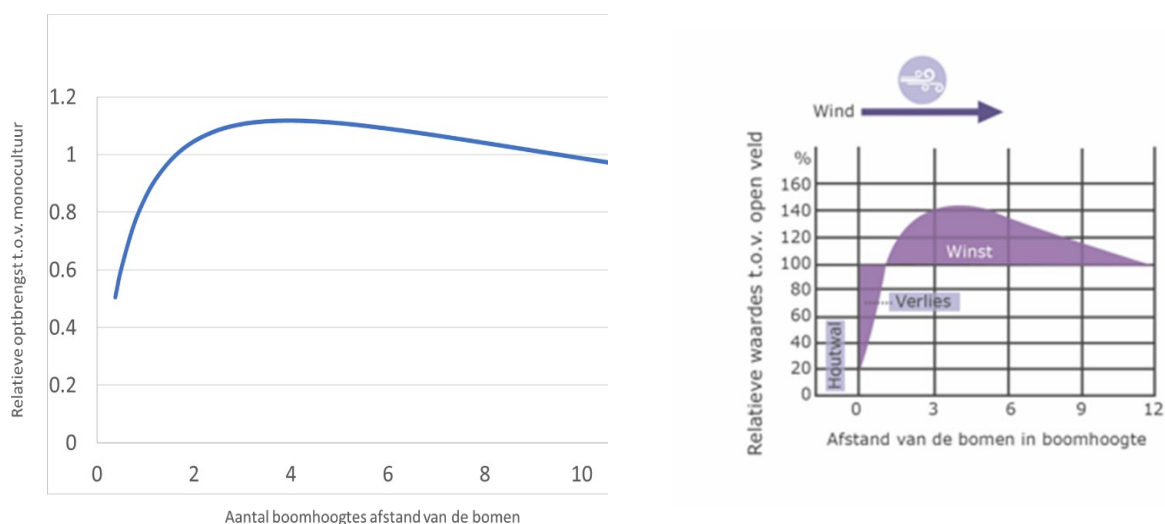
Ehret et al. (2015) imiteerde de schaduwvorming (30, 50 en 80% reductie in zonne-instralingsintensiteit) van een agroforestry systeem (Duitsland) en onderzocht de effecten hiervan op de productie van witte klaver-grasmengsels. In het object met een sterke reductie in zonne-instraling (80% schaduw) waren de opbrengsten 70% lager dan de opbrengsten in volle zon. Lichte en gemiddelde reductie in zonne-instraling (30 en 50% schaduw) zorgden voor een opbrengstverlies van 0-30%, wanneer vergeleken werd met de grasgroei in volle zon. Ehret et al. (2015) vond geen significant verschil in graskwaliteit tussen de verschillende schaduwbehandelingen.

Artru et al. (2017) imiteerde schaduwvorming (43 en 61% reductie in zonne-instralingsintensiteit) middels een kunstmatige stelling met camouflagenetten en beschrijft de effecten hiervan op de opbrengst en kwaliteit van wintertarwe (België). De camouflagenetten zorgden voor een significante reductie in wintertarwe opbrengst (25 en 45% opbrengstreductie, met respectievelijk 43 en 61% reductie in zonne-instralingsintensiteit). De kwaliteit (uitgedrukt in eiwitgehalte) van de tarwe was significant hoger in de schaduwbehandeling, maar de hogere eiwitgehalten konden het totale opbrengstverlies niet compenseren. De totale eiwitopbrengst was verlaagd met 8 en 20% in de objecten met respectievelijk 43 en 61% reductie in zonne-instralingsintensiteit. Door het gebruik van camouflagenetten voor schaduwvorming zijn de gemodelleerde opbrengstreducties te relateren aan de aangebrachte schaduw. De experimentele opzet bootst het effect van licht- en schaduwpatronen na en isoleert het effect van competitie-effecten van water en nutriënten.

Swieter et al. (2019) onderzocht de variabiliteit van winterkoolzaad en wintertarwe tussen wijde stroken (96m), smalle stroken (48m) en een controleveld in Noord-Duitsland tussen 2009-2016. Tussen de stroken stonden 6 rijen snelgroeiende populieren met een dichtheid van 10.000 bomen per ha. In 2016 en 2017, waren de opbrengsten 1m verwijderd van de bomenstrook 77% lager voor koolzaad en 55% lager voor wintertarwe in vergelijking met de opbrengsten uit het midden van de strook. De lagere gewasopbrengsten dicht bij de bomenrijen zouden volgens Swieter et al. het gevolg kunnen zijn ophoping van bladval op korte afstand van de bomen en aan de lijzijde (in de luwte), met name bovenop zaailingen in de herfst. Desondanks verschilden de lange termijn gewasopbrengsten niet tussen de smalle stroken, wijde stroken en het controleveld. Volgens Swieter et al. (2019) kwamen deze resultaten overeen met eerdere studies die opbrengstreducties observeerden in afstanden tot tweemaal de hoogte van geplante bomen.

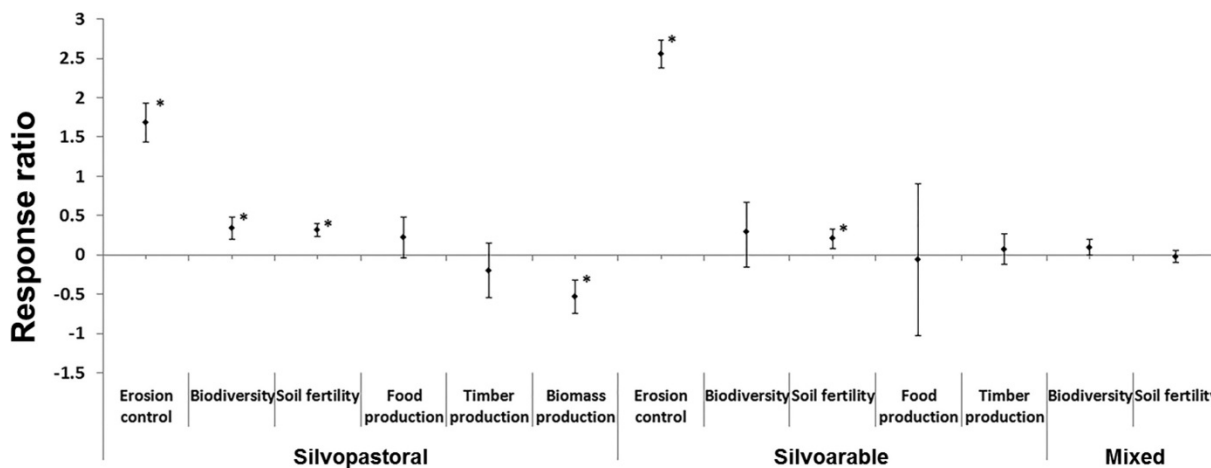
Zalac et al. (2021) gebruikte het biofysisch simulatiemodel (Yield-SAFE) om intercropping van korrelmais, gerst en koolzaad tussen walnootboomgaarden in Kroatië te simuleren. In dit model bleek intercropping productiever dan gescheiden walnoot- en gewasproductie voor alle onderzochte boomedichtheden (100, 135 en 170 bomen per ha). De productie van de gewassen nam af door de tijd heen, met de grootste afname van productie bij een boomedichtheid van 170 bomen per ha. Desondanks was zelfs na 20 jaar intercropping de LER nog groter dan 1.

Na twee decennia onderzoek naar het functioneren van agroforestry systemen in gematigde klimaatzones, met uiteenlopende resultaten, zijn twee meta-analyses gepubliceerd die de effecten van agroforestry systemen op o.a. productie (voedsel, hout, biomassa), bodem, biodiversiteit en economisch rendement samenvattend beschouwen (Torralba et al., 2016; van Vooren et al., 2016) en één systematische review gefocust op gewasopbrengsten (Ivezić et al., 2021). De meta-analyse uitgevoerd door van Vooren et al. (2016) bevat de resultaten van 12 papers (37 individuele experimenten) en eigen data, die de effecten van Europese agroforestry systemen beschrijven op gewasproductie (alleen agrisylvicultuur) en geleverde ecosysteem diensten in gematigde klimaatzones. Van Vooren et al. (2016) beschrijft onderzoek naar lanenteelt en boomrijen naast percelen en toont dat er gemiddeld een negatief effect is op de opbrengst van het naastliggend gewas tot aan een afstand van ongeveer 1,6 keer de boomhoogte en een positief effect tussen 1,6 en 9,5 keer de boomhoogte (Figuur 3).



Figuur 3 Links: De relatie tussen de afstand van de boom (uitgedrukt in aantal boomhoogtes) en de relatieve gewasopbrengst t.o.v. monocultuur. Opbrengstderving wordt gevonden tot 1,6 keer de boomhoogte en opbrengstverhoging tussen 1,6 en 9,5 keer de boomhoogte (Gebaseerd op Van Vooren et al., 2016; uit Selin-Norén en Schoutsen., 2022). Rechts: Samenvattende grafiek van de invloed van houtwallen op gewasopbrengsten. Met opbrengstderving tot ca. 1,5 keer de boomhoogte en opbrengstverhoging tussen 1,5 en 12 keer de boomhoogte. (Bron: Selin-Norén en Schoutsen, 2022).

De tweede meta-analyse, uitgevoerd door Torralba et al. (2016) bevat resultaten van 53 papers, die de effecten beschrijven van Europese agroforestry systemen (agrisylvicultuur en silvopastoraal) op productie en ecosysteem diensten. De effecten zijn uitgedrukt in een ongewogen response ratio index (*I_r*) (Hedges et al., 1999; Borenstein et al., 2009), zie figuur 4. De figuur geeft een licht verhoogde voedselproductie weer in silvopastorale systemen en een licht verlaagde productie in agrisylvicultuur agroforestry systemen (silvoarable). De laatste toont een hoge variabiliteit.



Figuur 4 Response ratio van agroforestry systemen op diverse ecosysteem diensten. Positieve ratio's indiceren een positief effect van agroforestry op de diverse diensten wanneer vergeleken met monoculturen. * duidt op een significant verschil ($p < 0.05$). Bron: Torralba et al. (2016).

De systematische review van Ivezić et al. (2021) betreft 13 artikelen, waarvan 6 artikelen focusten op Dehesa en Montado systemen in Spanje en Portugal en 7 artikelen focusten op zgn. 'alley cropping'(rijenteelt) systemen. Dehesa en Montado systemen zijn lage input systemen, waar een laag aantal (oude eiken) bomen per ha verspreid zijn, met gras of voedergewassen in de onderbeplanting. Deze systemen zijn vooral ingericht op het houden van vee. De alley cropping systemen bestaan uit in rijen geplante bomen, met in de rijen daartussen eenjarige gewassen. In Europa worden voornamelijk walnootbomen, populieren, wilgen, tarwe, gerst en peulvruchten in deze systemen geteeld. Uit de analyse bleek dat de jaarlijkse gewasopbrengsten gemiddeld 2,6% afnamen gedurende de eerste 21 jaar

in alley cropping systemen, wat wijst op toenemende competitie-effecten naarmate bomen ouder worden. Binnen alley cropping systemen leken de relatieve opbrengsten voor voedergewassen lager dan voor granen. Er werd geen negatieve invloed op gewasproductie gevonden bij de traditionele Dehesa en Montado systemen. Wel werden voor beide systemen relatieve afnames in gewasproductie gevonden naarmate boomdichtheid toenam, als gevolg van toenemende competitie om licht, water en nutriënten (Ivezić et al., 2021).

De twee meta-analyses en het systematisch review bevestigen de hypothese dat complexe agro-ecosystemen (complexiteit in structuur en functionaliteit, bv. agroforestry) in de juiste context een productieniveau kunnen voortbrengen dat kan concurreren met een monocultuur gewas- of bosbouwsysteem (Cannell et al., 1996; Torralba et al., 2016; van Vooren et al., 2016). Uit de literatuur blijkt tegelijk dat het succes van agroforestry systemen m.b.t. productieniveaus zeer variabel is. De keuze voor gewassen (diversiteit wortelpatronen, worteldiepte, boomkroon vorm, bladvorming, schaduwtolerantie eenjarigen), plantdichtheid, boomrij oriëntatie, management keuzes (o.a. snoei vorm, handmatige arbeid of mechanische arbeid), bodem(soort) en lokale klimaatomstandigheden hebben allen een invloed op de opbrengst (Chirko et al., 1996; Dufour et al., 2013; Gao et al., 2014).

2.1.2 Biograndstoffen

In het kader van de overgang van een economie die draait op fossiele grondstoffen naar een economie die draait op biomassa als grondstof liggen er kansen binnen de akkerbouw, tuinbouw en bosbouw om biograndstoffen te kunnen produceren (Stichting Agrodome n.d.). Reststromen zijn hiervoor geschikt, maar ook nieuwe gewassen en door nieuwe toepassingen van bestaande gewassen kan ook het aanbod van biograndstoffen vergroot worden.

De Routekaart Nationale Biograndstoffen (Corbey & Asselt, 2020) inventariseert de biograndstoffen die in Nederland beschikbaar zijn, beschrijft de mogelijkheden om het aanbod te vergroten en schetst een aantal mogelijke routes die leiden tot een vergroting van het aanbod. Vooral bos- en landbouw kunnen met productie van nieuwe biograndstoffen het aanbod vergroten. Corbey & Asselt (2020) benadrukken dat om de beschikbaarheid van biograndstoffen te verhogen, het essentieel is om negatieve impact op de omgeving te voorkomen. Er dient maximaal geproduceerd te worden, maar ten alle tijden in balans met de natuur en met behoud of verbetering van biodiversiteit en bodemkwaliteit. Wat betreft de landbouw, geeft Corbey & Asselt (2020) aan dat een efficiëntievergroting nodig is, evenals adequate (nieuwe) technologie, zodat meer landbouwgrond benut kan worden voor biograndstoffen zonder dat dit ten koste gaat van de productie van voedsel of veevoer.

Eén van de mogelijkheden voor de landbouw om het aanbod nieuwe biograndstoffen te vergroten die genoemd worden in Corbey & Asselt (2020) is strokenlandbouw/mengteelt. Ze noemen de combinatie strokenteelt- en bosbeheer, waarbij gras en rijen bomen gecombineerd worden, waarbij tevens de biodiversiteit verhoogd wordt. Met strokenteelt- en bosbeheer kan de landbouwgrond nog efficiënter benut worden. Daarnaast geeft Corbey & Asselt (2020) aan dat de landbouw kan zorgen voor toename van vezelmateriaal voor non-food toepassingen, hoewel dit (nog) niet heel voordehand liggend is. Vezelgewassen kunnen op dit moment qua prijzen meestal niet concurreren met andere akkerbouw- of vollegrondsgroentegewassen of gras. Vezelmateriaal kan volgens Corbey & Asselt (2020), naast uit hout en stro, onder meer gewonnen worden uit miscanthus, hennep en vlas, uit reststromen zoals berm- en natuurgras, loof van landbouwgewassen dat op de akker achterblijft en uit plantenresten uit de glastuinbouw.

Wat de transitie naar een circulaire economie precies kan betekenen voor de individuele boer en hoe agroforestry hier een rol in kan spelen is nog onvoorspelbaar. Veel hangt af van de keuzes die gemaakt worden binnen het beleid, de kwaliteit van de biograndstoffen, de technologie, de markt voor de eindproducten, maar ook van de prijzen van biograndstoffen op de wereldmarkt (Corbey & Asselt, 2020). Corbey & Asselt (2020): "Waar fossiele ketens vele decennia optimalisatie hebben ondergaan, staan de bioketens buiten de voedsel- en veevoedermarkten in veel gevallen nog in de kinderschoenen. De keten van primaire producent (agrariër, bosbeheerder, inzamelaar van reststromen) tot verwerker en vervolgens eindproducent van biomaterialen is nog niet op alle schakels stabiel."

2.2 Regulerende & ondersteunende diensten

2.2.1 Waterkwaliteit en -regulatie

Het planten van bomen en/of houtige gewassen in eenjarige landbouwsystemen heeft een potentieel positief effect op de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater, op perceels- en landschapsniveau (Pardon et al., 2017). Agroforestry kan de waterkwaliteit verbeteren door middel van de volgende twee processen: 1) reduceren van afspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater door tegengaan van erosie, 2) reduceren van uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater door het afvangen van die nutriënten (Allen et al., 2004; Nair, 2007; Jose, 2009; Bergeron et al., 2011).

De verwachte reductie in erosie (1), is voornamelijk gebaseerd op het geobserveerde effect van bodembedekking en boomwortels en hun erosie-verminderende vermogen (Francia Martínez et al., 2006; Gómez et al., 2009). Met name lagere struiken verminderen de zogenaamde 'splash-erosie' veroorzaakt door vallend regenwater en verminderen de vorming van een bodemkorst. Door gevallen takken, snoeiafval en bladval wordt de bodem bedekt waardoor de infiltratie van water wordt vergroot. Hierdoor wordt de snelheid waarmee water afspoelt verminderd, waardoor het water langer de tijd krijgt om in de bodem te zakken. Als gevolg hiervan wordt de afspoeling verminderd (Zhu et al., 2020). De verwachte reductie in uitspoeling (2), is gebaseerd op de 'safety net', waarin wordt gesteld dat diepwortelende houtige gewassen nutriënten kunnen onderscheppen die zijn uitgespoeld uit de (door eenjarigen) bewortelbare zone (Cadisch et al., 1997). Door deze onderschepping wordt een reductie verwacht in uitspoeling, wat resulteert in een afname in grondwatervervuiling (Rowe et al., 1999). Allen et al. (2004) heeft deze hypothese bevestigd in een volwassen katoen – pecannoot agroforestry systeem (50 jaar) in Florida en onderschrijft de significante rol van boomwortels in het tegengaan van N uitspoeling en de hiermee gepaarde grondwatervervuiling. Bergeron et al. (2011) beschrijft een reductie van NO₃-N uitspoeling (populier, 5-8 jaar) van 227 kg N ha⁻¹ en 30 kg N ha⁻¹ in twee opeenvolgende jaren (2006 en 2007) in een kleileem bodem. Boomwortels reduceerden NO₃-N uitspoeling effectiever in 2006 dan in 2007, als gevolg van de hogere NO₃-concentratie in 2006 en lagere uitspoeling door regenval. Het 'safety net' van populieren voor N-uitspoeling was op zandgrond minder effectief dan op kleileemgrond, maar een eenduidige verklaring hiervoor wordt door Bergeron et al. (2011) niet gegeven. De mate van voorkomen van nutriëntuitspoeling door diepwortelende houtige gewassen is afhankelijk van de dichtheid van de houtige gewassen, afstand tussen de rijen en het soort houtige gewas. Bij bodems en gewassen die gevoelig zijn voor uitspoeling zullen de positieve effecten relatief groot zijn (Fuchs, 2022). Een simulatie van Kay et al. (2018) vond een significante reductie in N uitspoeling bij Zwitserse agroforestry kersengarden. Veranderingen in N-stromen hebben invloed op biodiversiteit en ook op humane gezondheid en klimaat (Van Grinsven et al., 2013). Van Grinsven et al., (2013) heeft een methode ontwikkeld om deze invloed uit te drukken in financiële kosten en baten. Volgens de auteurs leidt het internaliseren van dergelijke kosten tot lagere stikstofnormen. Het nemen van maatregelen om stikstofuitspoeling en -afspoeling te verlagen wordt hierdoor belangrijker.

Naast waterkwaliteit, heeft agroforestry waarschijnlijk ook effect op de waterregulatie en het waterbergend vermogen van de bodem. Het waterbergend vermogen van de bodem is een kwaliteitsaspect van de bodem en doelt op het water dat 'gevangen' wordt tussen de bodemdeeltjes en de wortels in de bodem matrix. Agroforestry systemen kunnen bijdragen aan een hoger waterbergend vermogen van de bodem via meerdere mechanismen; 1) verhoogde bodem organische stof door een toename in beworteling en organisch materiaal dat van houtige gewassen valt (Pardon et al., 2017) en 2) lagere bodemdichtheid door meer poriën waar water in opgeslagen kan worden (Udawatta et al., 2015). De aanwezigheid van bomen beïnvloedt de waterregulatie door 1) verminderde evaporatie door bescherming van de bodem tegen zonlicht en 2) verminderde evaporatie door bescherming van de bodem tegen wind (Smith et al., 2013).

Er is weinig tot geen kwantitatieve data over de mate van wateropslag van agroforestry systemen in tropische noch gematigde klimaatzones. Mogelijke waardes zijn hoogstwaarschijnlijk zeer wisselend, zeker wanneer het waterpeil hoog is, zoals vaak de realiteit is bij Nederlandse condities. Een schatting kan worden gemaakt gebaseerd op data uit de bosbouw. Het verschil in wateropslag tijdens een jaar is

2,1 – 2,5 keer hoger voor een bos vergeleken met dezelfde grondsoort zonder bomen (Geris et al., 2014). Hieruit kan worden geconcludeerd dat bomen de opslag van water in de bodem kunnen verdubbelen, alhoewel dit gebaseerd is op aannames in een andere context. Voor een agroforestry systeem is de wateropslag en het waterbergend vermogen afhankelijk van de hoeveelheid bomen per hectare en het type boom en wortelstelsel.

2.2.2 Luchtkwaliteit

Bomen kunnen een rol spelen in het verbeteren van luchtkwaliteit. Er is echter weinig specifieke literatuur beschikbaar over de effecten van specifiek agroforestry systemen op luchtkwaliteit, en in de uitgebreide meta-analyses van Fagerholm et al. (2016b) en Torralba et al. (2016) komt het ook niet terug. Tyndall & Colletti (2007) rapporteren echter wel over de potentiële bijdrage van agroforestry aan het tegengaan van hinderlijke geuren.

Wel is er meer bekend over de rol die bomen in het algemeen kunnen spelen bij luchtkwaliteit, waarbij vaak wordt gekeken naar fijnstof en specifiek ammoniak (NH₃). Groenstroken als houtwallen en hagen beïnvloeden de luchtstroom en remmen de windsnelheid, waardoor stofdeeltjes in de lucht sneller kunnen neerslaan. Daarnaast kan de vegetatie ook een filterende werking hebben door (stof)deeltjes fysiek te onderscheppen en via gasuitwisseling (diffusie) deeltjes op te nemen uit de lucht (o.a. Brusselman et al., 2016; Wesseling et al., 2011). Dit geldt ook voor stikstofverbindingen. Deze processen zullen ook gelden voor agroforestry systemen. Oosterbaan et al. (2006) beschreven al eens de rol van kleine landschapselementen (bijv. bosjes, singels, bomenrijen) als invangers van fijnstof en ammoniak. Hierbij werd benoemd dat naaldbomen het effectiefst zijn om fijnstof in te vangen en loofbomen het effectiefst om ammoniak op te vangen. Hoe groot het effect zal zijn hangt van veel factoren af, denk aan de vorm en oriëntatie van de agroforestry elementen, de openheid van het omliggende landschap en de concentraties van stofdeeltjes in de lucht. Factoren die de effectiviteit van de agroforestry elementen op ammoniakafvang bepalen zijn de fysieke afmetingen van het landschapselement (hoogte en breedte), de optische porositeit (doorlaatbaarheid) en de bladeigenschappen (oppervlak en structuur), waarbij grote elementen met een redelijke porositeit en veel ruwe bladstructuur relatief het grootste effect zullen hebben (Brusselman et al., 2016).

Het effect van agroforestry op luchtkwaliteit is moeilijk te kwantificeren, maar kijkend naar schattingen van ammoniakreducties uit verschillende studies variëren die van zo'n 5-15% (Bealey et al., 2016; Brusselman et al., 2016; Kros et al., 2015; Oosterbaan et al., 2006). Indien aanplant heel specifiek rondom ammoniak emissiebronnen, zoals stallen, ingezet wordt, kan het lokale effect hiervan nog hoger zijn (o.a. Bealey et al., 2014).

2.2.3 Bodemkwaliteit en -vruchtbaarheid

Agroforestry systemen kunnen positief bijdragen aan de bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid (Jose, 2009). Voor een goede integrale bodemkwaliteit dient gekeken te worden naar zowel de fysische, chemische, als biologische bodemkwaliteit, waaronder dus de bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid en bodemleven. Deze verschillende aspecten zijn ook sterk met elkaar verbonden.

Kijkend naar de fysische bodemkwaliteit en bodemstructuur dragen agroforestry systemen hieraan bij via i) boomwortels, die poriën en gangen creëren in de bodem en veelal uitgebreider wortelen dan éénjarigen en ii) verhoogde organische stof via bladval en afstervende wortels en andere biomassa. Positieve effecten van agroforestry op bodemstructuur worden in verschillende studies beschreven. Udawatta et al. (2008a) observeren 3-5 keer meer bodemporiën in een agroforestry systeem, vergeleken met een mais-sojaboon rotatie. Ook rapporteren de auteurs over een toegenomen aggregaat stabiliteit (Udawatta et al., 2008b). Carvalho et al. (2004) beschrijven de superioriteit van de bodemstructuur van een agroforestry systeem in Brazilië ten opzichte van een eenjarig systeem, wat zich uit in een hogere porositeit, minder indringingsweerstand en een toegenomen aggregaat stabiliteit. Dit leidt er toe dat de bodem een gunstigere structuur heeft en minder verdicht is, wat zowel de plantengroei, bodemleven als waterinfiltratie ten goede kunnen komen.

Agroforestry systemen leveren ook een bijdrage aan de chemische bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid. Dit doen ze enerzijds door het reduceren van afspoeling (erosie) en uitspoeling van kostbare nutriënten naar oppervlakte- en grondwater, waardoor dit voor het systeem behouden

blijft. Daarnaast zorgen agroforestry systemen over het algemeen voor een hogere toevoer van nutriënten gebonden aan organische stof via bladval en uitscheidingsproducten van wortels met voordelen voor nutriëntenbeschikbaarheid (Pardon et al., 2017). Verstand (2023) geeft aan dat de stikstofopslag in agroforestry systemen verhoogd is in bodem en biomassa vergeleken met conventionele teeltsystemen. De meta-analyse van Torralba et al. (2016) rapporteert voor agroforestry een significant positief effect op bodemvruchtbaarheid en hergebruik van nutriënten (n=171 vergelijkingen). In specifieke gevallen, waarbij stikstoffixerende bomen of struiken (bijv. els, robinia, duindoorn) ingezet worden binnen een agroforestry systeem kunnen deze ook nog bijdragen aan een additionele toevoer van stikstof. Deze stikstoffixerende gewassen hoeven dan mogelijk minder te concurreren met de akkerbouwgewassen. Verder hebben stikstoffixerende gewassen een hogere stikstof concentratie in afstervende biomassa die weer beschikbaar worden voor de akkerbouwgewassen (Fuchs, 2023a). Zo beschrijft Seiter et al. (1995) de effecten van els (*Alnus rubra*) op N gehalten in de bodem van een mais agroforestry systeem (Oregon), waarbij 32-58% van de totale hoeveelheid N in het maisveld afkomstig was van stikstof vastgelegd door de elzen.

Agroforestry zal naar verwachting ook positief bijdragen aan de biologische bodemkwaliteit van een systeem, waarbij gekeken kan worden naar bodembiodiversiteit en habitatvoorziening. Dit zal echter grotendeels afhangen van hoe het agroforestry systeem wordt ingericht. Hierboven is de verwachte toename aan organische stof al meermaals benoemd, welke ook voor het bodemleven een positief effect zal geven. In de huidige literatuur is beperkte kennis beschikbaar over de effecten van agroforestry systemen op biologische bodemkwaliteit in gematigde klimaatzones. Udawatta et al. (2008b) tonen aan hoe enzymactiviteit in agroforestry systemen verhoogd is vergeleken met eenjarige monocultuur productiesystemen. Wat betreft andere bodembioologische eigenschappen is het te verwachten dat een verminderde verstoring van bodem, een diverser en groter aanbod van organische stof en een verandering in de C/N verhouding in de bodem zullen leiden tot een toename in schimmelbiomassa, een vergrote microbiologische massa, een in het algemeen verhoogde bodembioologische activiteit en een toename van de regenwormpopulatie. De voornoemde verwachte resultaten zijn aannames gebaseerd op herhaaldelijk geobserveerde significante effecten in teeltsystemen met verminderde bodemverstoring (waaronder NKG, gereduceerde grondbewerking en directe zaai) en verhoogde organische stof aanvoer (waaronder door een verhoogd aantal groenbemesters, aanvoer compost en ander organisch materiaal) (Doran, 1980; Norstadt & McCalla, 1969; Cavigelli et al., 2012; Kuntz et al., 2013; Crittenden et al., 2015). Een toename in schimmelbiomassa betekent ook een toename in mycorrhizale schimmels. Deze schimmels vormen fijne draden (hyfen) die verder reiken dan de wortels van planten. Door symbiose aan te gaan met deze schimmels, vergroten planten in feite het bereik van hun eigen wortelstelsel. In deze symbiose kunnen planten de door henzelf geproduceerde koolstofverbindingen (suikers) uitruilen tegen water en andere voedingstoffen die via de hyfen uit diepere lagen worden opgehaald. Mycorrhizale schimmels kunnen zelfs bepaalde voedingstoffen van een plant met overschot doorgeven aan een plant met een tekort. Intensieve grondbewerking, (kunst)mest en chemische bestrijdingsmiddelen beïnvloeden de groei en functie van de mycorrhizale schimmels negatief. Bij agroforestry systemen komen deze voorgenoemde handelingen beperkt voor waardoor gunstige omstandigheden ontstaan voor de mycorrhizale schimmels, en daarmee een versterkte symbiose tussen schimmel en plant. Tot slot, kunnen de diepe wortels van bomen nutriënten ophalen die via de mycorrhizale schimmels naar minder diep wortelende planten getransporteerd worden (van der Meer, 2022).

2.2.4 Klimaatmitigatie en -adaptatie

Agroforestry systemen hebben de potentie om een bijdrage te leveren aan klimaatmitigatie en klimaatadaptatie. De bijdrage aan klimaatmitigatie kan gerealiseerd worden door het afvangen en vastleggen van CO₂ uit de lucht in de bodem en biomassa, en door het reduceren van emissies. Klimaatadaptatie gaat vooral om het beter om kunnen gaan met extremere weersomstandigheden zoals droogte, extreme wind en wateroverlast. Door klimaatverandering nemen weersextremen naar verwachting toe, wat een impact zal hebben op oogstzekerheid.

Klimaatmitigatie

Agroforestrysystemen kunnen naar schatting tussen de 1 en 10 ton CO₂ per hectare per jaar vastleggen, afhankelijk van de inrichting en implementatie van de systemen (Fuchs en Selin-Norén, 2023). De koolstofvastlegging is sterk afhankelijk van de boomsoort en dichtheid (Fuchs en Selin-Norén, 2023). Doorgaans wordt onderscheid gemaakt tussen koolstofopslag in de bovengrondse (stam en takken) en

ondergrondse (wortels) houtige biomassa enerzijds en bodemkoolstof anderzijds. De duur van deze koolstofopslag hangt onder andere af van toekomstig gebruik van de biomassa en de bodem. Agroforestry systemen en houtige gewassen in het algemeen hebben een positief effect op bodemkoolstof door tak- en bladafval, afstervende wortels en wortelafscheidings. In de meta-analyse van Mayer et al. (2022) in agroforestry systemen in een gematigd klimaat wordt een significant positief effect op bodem koolstofvastlegging aangetoond van gemiddeld 0,36 t C/ha/jr in de 0-40cm bodemlaag. Wel dient hierbij vermeld te worden dat er een grote variatie was tussen individuele studies. Hierbij werd een hogere vastlegging gevonden in systemen met loofbomen dan naaldbomen. Daarnaast werd de hoogste gemiddelde vastlegging gevonden voor houtwallen/hagen (0,60 t C/ha/jr), gevolgd door alley cropping (0,49 t C/ha/jr) en zelfs een afname in bodemkoolstof in silvopastorale systemen (-0,20 t C/ha/jr) (Mayer et al., 2022). Dit laatste kan voornamelijk verklaard worden doordat silvopastorale systemen normaal gesproken grasland als basis hebben, welke al een hoge bodemkoolstof voorraad hebben, al rapporteren Cardinael et al. (2018) voor omschakeling van grasland naar silvopastoraal in gematigd klimaat een gemiddelde toename in bodemkoolstof van 0,07 t C/ha/jr.

Over het algemeen stoten eenjarige teelten en grasland met weidegang bij gangbaar beheer meer CO₂ uit dan ze opslaan. Dit varieert sterk per gewas, maar gemiddeld stoot een eenjarige teelt 1-4 ton CO₂ per ha per jaar uit. Cardinael et al. (2018) rapporteert een gemiddelde vastlegging van 1,10 t C/ha/jr voor houtwallen, 1,14 t C/ha/jr voor silvoarable systemen en 3,03 t C/ha/jr in silvopastorale systemen, waarbij de koolstof in ondergrondse biomassa zo'n 20-25% van het totaal bedroeg. Wel moet gezegd worden dat hier een hele grote variatie tussen individuele systemen bestaat en de boomdichtheid relatief hoog is met gemiddeld 202 bomen/ha in het silvoarable systeem en 854 bomen/ha in het silvopastorale systeem. Loofbossen slaan gemiddeld 10 ton CO₂ per ha per jaar op in de bodem en biomassa. Deze waarde geldt uiteraard niet direct voor agroforestry systemen, maar geeft wel de potentie van koolstofopslag voor deze systemen weer.

De reden waarom bomen relatief veel koolstof opslaan is door bladafval, meerjarige stammen en diepe, uitgebreide wortelstelsels (Fuchs en Selin-Norén, 2023).

Naast koolstofvastlegging kunnen agroforestry systemen ook bijdragen aan een reductie van broeikasgasemissies uit het systeem en hiermee bijdragen aan klimaatmitigatie. Zo kunnen fossiele brandstoffen voorkomen worden door hout met een korte omlooptijd (wilg, kers, populier, robinia) te gebruiken voor energieproductie. Staal, beton en onduurzaam verkregen hout kan vervangen worden door lokaal en duurzaam geteeld hout (eik, kastanje of robinia). Wanneer lokaal hout gebruikt wordt, wordt ontbossing maar ook transportemissies voorkomen (Fuchs en Selin-Norén, 2023). Verder kunnen agroforestry systemen resulteren in een reductie in N₂O-emissies uit de bodem door een lager N-overschot of betere bodemstructuur. Schoeneberger et al., 2012 schrijft over effecten van agroforestry op voerkwaliteit en gerelateerde CH₄-emissies. In het paper van (Gonzalez Quintero et al., 2024) is het effect van een overstap naar (deels) silvopastorale systemen met verbeterde weidemanagement op de CO₂-footprint per kilo vet en eiwit geproduceerd in melk in Colombia. In dit onderzoek hebben ze een reductie tot wel 40% van de CO₂-footprint bepaald. Het is onbekend of deze resultaten voor Colombia ook behaald kunnen worden in Nederland, waar het weidemanagement anders is ingericht.

Klimaatadaptatie

Agroforestry systemen kunnen ook bijdragen aan het weerbaarder maken van landbouwsystemen tegen weersextremen zoals droogte, wind en wateroverlast. Het inpassen van boomstroken heeft effect op het microklimaat. Dit volgt met name door een reductie in windsnelheid en temperatuur, wat kan leiden tot verlaagde gewasverdamping en verhoogde dauwvorming, wat kan zorgen voor een grotere waterbeschikbaarheid voor de gewassen tussen de bomen in tijden van droogte (Jacobs et al., 2022). Dicht bij de bomen (1,5 keer de boomhoogte) is het microklimaat relatief koeler en het bodemvocht hoger door de schaduwwerking van de boomkroon, bladval en beworteling. Verder weg van de bomen (tot ca. 10 keer de boomhoogte) is er met name sprake van een temperatuurverlaging en windremming, met gevolgen voor de waterhuishouding (Selin-Norén, 2022). Of dit daadwerkelijk voordelen oplevert voor de gewasgroei hangt van vele factoren af en is niet eenduidig te zeggen. Al laten studies uit Duitsland wel degelijk positieve effecten op gewasgroei zien (Kanzler et al., 2019). Tegelijkertijd zullen bomen zelf ook veel water verdampen, vaak hoger dan éénjarige gewassen omdat ze een langer groeiseizoen hebben. Volgens een studie van Markwitz et al. (2020) in Duitsland lijkt er op systeemniveau echter geen verschil in waterverbruik te zijn tussen agroforestry systemen en monoculturen gras of akkerbouw, waarbij de hogere verdamping van de bomen waarschijnlijk gecompenseerd wordt door lagere gewasverdamping door het microklimaatteffect.

Een verlaagd risico op wateroverlast in agroforestry systemen wordt voornamelijk veroorzaakt door een betere bodemstructuur en de wortelgangen van bomen (zie paragraaf 2.2.2). Dit kan zorgen voor een verhoogde infiltratiecapaciteit en waterbergend vermogen, wat in het teeltsysteem robuuster maakt in tijden van droogte. Tevens, verminderen bomen de hoeveelheid neerslag die de bodem bereikt en remmen ook de neerslag waardoor afspoeling en bodemerosie verminderd worden.

Hoge boomedichtheden, het laten liggen van bladval, zaaien van onderbegroeiing, boomstroken plaatsen langs hoogtelijnen en bomen kiezen met een dichte kroon, hoge verdamping, veel bladlagen en kleine bladeren zijn methoden om wateroverlast te beperken (Selin-Norén, 2022).

Een verlaagd risico op hittestress bij vee wordt voornamelijk gerealiseerd door de schaduwwerking en afkoeling door verdamping van bomen. Schaduw zorgt uiteraard voor minder instraling van licht, dat gemiddeld een temperatuurverlaging van 1-2 °C kan veroorzaken. Het proces van verdamping kost energie waardoor de lucht afkoelt (Selin-Norén, 2022).

Wind heeft een sterke invloed op verdamping aangezien het droge lucht aanvoert waardoor er door diffusie water verdampt. De windremming door bomen is afhankelijk lengte, hoogte en de richting van de aanplant t.o.v. de windrichting. Om effectieve windremming te realiseren moet hier rekening mee gehouden worden in het design van het agroforestry systeem. Succesvolle windremming kan resulteren in lagere waterconsumptie en hogere waterefficiëntie. Verder stimuleert het dauwvorming en neerslag (Selin-Norén, 2022).

Een veranderend klimaat heeft ook effect op insectenplagen, aangezien de ontwikkelingssnelheid van insecten rechtstreeks beïnvloed wordt door temperatuur. Hogere temperaturen kan betekenen dat insectenplagen zich eerder in het seizoen ontwikkelen en meer generaties kunnen leveren. Het is nog niet duidelijk vanuit de literatuur of, en zo ja in hoeverre, agroforestry, door haar verkoelende werking, hier effect op kan hebben (Selin-Norén, 2022).

2.2.5 Reguleren en controleren ziekte-, plaag- en onkruiddruk

Van systemen met een hoge gewasdiversiteit, zoals agroforestry, wordt over het algemeen verwacht dat er een betere regulatie is van ziekte-, plaag- en onkruiddruk dan in monocultuur systemen. Agroforestry zou dus mogelijk een rol kunnen spelen in verhogen van gewaskwaliteit of verlagen van de inzet van (chemische) gewasbeschermingsmiddelen. De uiteindelijke ziekte-, plaag- en onkruiddruk (en nog een stap verder, de gewasopbrengst) kan gezien worden als de uitkomst van een complexe optelsom van deze verschillende interacties. Hieronder worden beknopt ingegaan op het effect van agroforestry op ziekte-, plaag- en onkruiddruk in plantaardige productiesystemen in gematigd klimaat.

Ziekte- en plaagdruk

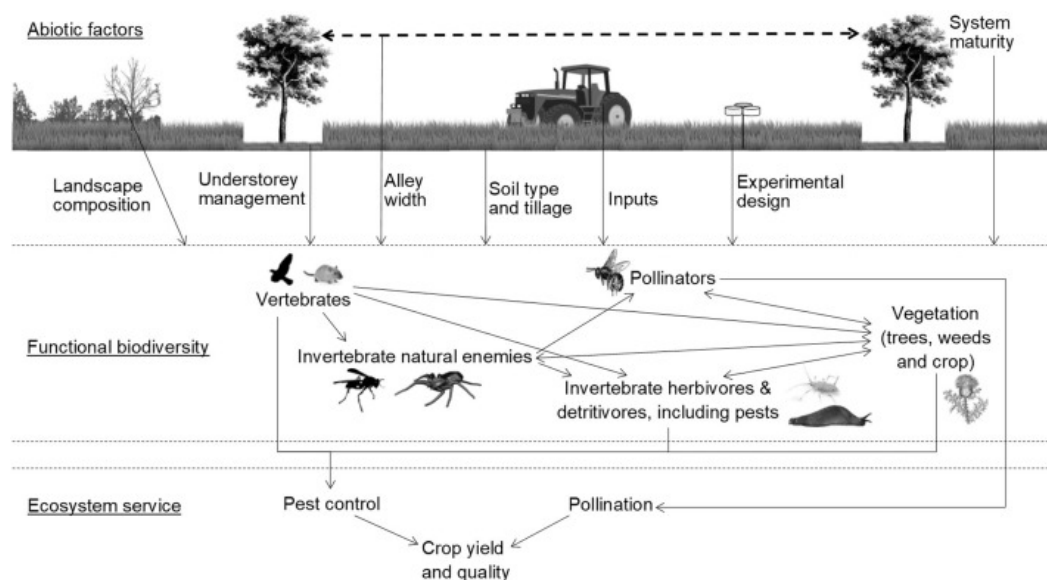
Enkele mechanismen hoe agroforestry een positief effect kan hebben op ziekte- en plaagdruk zijn (Sileshi et al., 2008):

- Toename in diversiteit en voorkomen van natuurlijke vijanden op perceel- en landschap niveau, als gevolg van toename in habitat-complexiteit door het toevoegen van houtige gewassen (zoals onderzocht in Letourneau et al., 2011; Chaplin-Kramer et al., 2011; Tschamntke et al., 2011; Iverson et al., 2014). Natuurlijke vijanden van plagen worden ook wel 'functionele agrobiodiversiteit' genoemd.
- Verminderde verspreiding van plagen en pathogenen omdat houtige gewassen kunnen optreden als fysieke barrières en/of omdat de afstand tussen waardplanten vergroot is.
- Verbeteren van microklimaat in gure omgevingen, waardoor de groeikracht van gewassen toeneemt (en daarmee de vatbaarheid voor ziekten en plagen afneemt).

Potentiële effecten waarmee agroforestry een negatieve impact kan hebben op ziekte- en plaagdruk zijn (Sileshi et al., 2008):

- Competitie tussen bomen en gewassen om water, nutriënten en licht waardoor de groeikracht van gewassen afneemt.
- Toename in voedsel- en schuilmogelijkheden voor plagen door het toevoegen van houtige gewassen.
- Opbouw van ziekten en plagen in bladafval of in de bomen zelf. Dit is met name relevant als bomen en gewassen vatbaar zijn voor dezelfde ziekten en plagen.
- Toename van luchtvochtigheid als gevolg van windremming, waardoor schimmeldruk toe zou kunnen nemen.

Of de uiteindelijke ziekte- en plaagdruk in het agroforestry systeem hoger of lager uitpakt dan in de monocultuur, is van diverse factoren afhankelijk. Denk hierbij aan het ontwerp (gewaskeuze, boomsoort, afstand tussen bomenrijen), beheer (snoei bomen, maai ondergroei, gebruik gewasbeschermingsmiddelen), weersomstandigheden (droog of nat), omringend landschap en de specifieke ziekte of plaag die onderzocht wordt. Een schematische weergave hoe enkele van deze factoren invloed hebben op functionele agrobiodiversiteit en daarmee plaagonderdrukking, bestuiving en gewasopbrengst is te vinden in Figuur 5. Dit geeft de complexiteit van het onderwerp goed weer; in werkelijkheid zullen nog meer factoren op ziekte- en plaagdruk van invloed zijn.



Figuur 5 Grafische impressie van factoren en effecten op functionele biodiversiteit, plaagonderdrukking, bestuiving en gewasopbrengst die voor kunnen komen in agroforestry systemen. Bron: Staton et al. (2019)

Binnen het bestek van deze literatuurstudie is één meta-analyse gevonden waarin het effect van agroforestry systemen in gematigd klimaat op aanwezigheid van natuurlijke vijanden en plagen is onderzocht (Staton et al., 2019). Uit de 12 publicaties die in deze meta-analyse werden meegenomen, bleek een toename in aanwezigheid van natuurlijke vijanden en een afname in aanwezigheid van plaaginsecten (herbivore geleedpotigen) in silvoarable agroforestry systemen t.o.v. volledige akkerbouwsystemen. De aanwezigheid van slakken nam echter ook toe in de agroforestry systemen (op basis van 2 publicaties).

Als enkele specifieke studies bekeken worden, bleken er o.a. minder luizen per aar voor te komen in een agroforestry systeem met wintertarwe en es, esdoorn, kers, walnoot en hazelnoot (Engeland) (Naeem et al., 1997) en minder volwassen luzernekevers voor te komen in een agroforestry systeem met luzerne en walnoot (VS) (Stamps et al., 2009) t.o.v. de monocultuur referentie. Smith et al. (2014) beschrijft de positieve resultaten van een agroforestry systeem op schurft in appels (Engeland). Appels die geteeld waren in een biologisch agroforestry systeem (appel – diverse boomsoorten – aardappel/graaan) hadden 50% minder last van schurft dan appels geteeld in een appelboomgaard. Op beide locaties werden geen gewasbeschermingsmiddelen gebruikt. Ten slotte bleek in een Duitse studie de infectie van tarwe, gerst en koolzaad voor 8 schimmelziektes gelijk en voor 2 schimmelziektes lager in agroforestry vs. monocultuur, gemeten over meerdere jaren en in verschillende agroforestry systemen (Beule et al., 2019).

Ziekte-druk werd niet onderzocht in de meta-analyse van Staton et al. (2019). In een eerdere meta-analyse gericht op agroforestry in tropisch klimaat (Pumariño et al., 2015) gebeurde dit wel. Op basis van 42 artikelen werd gevonden dat agroforestry een toename in hoeveelheid en diversiteit van natuurlijke vijanden teweegbrengt en een afname in schade door plagen en ziektes. Al met al kan een voorzichtig positief effect van agroforestry systemen in gematigd klimaat op ziekte- en plaagdruk worden geconcludeerd. Of dit leidt tot minder schade en verlies aan productie is nog weinig geanalyseerd en zou een goed aanknopingspunt zijn voor verder onderzoek.

Onkruiddruk

Van agroforestry wordt naast een effect op ziekte- en plaagdruk ook een effect verwacht op onkruiddruk. Onkruid is een veelgehoorde vrees van boeren, met name in silvoarable agroforestry systemen (Cirou & Hannachi, 2014; Wartelle, 2014; Mézière et al., 2016). In deze systemen kunnen de boomstroken een bron vormen waarvandaan onkruiden zich kunnen verspreiden naar de akkerbouwstroken. In de boomstroken worden namelijk geen eenjarige productiegewassen geteeld en is mechanische onkruidbestrijding complex (zowel door de boomwortels als eventuele struiken of andere houtige gewassen tussen de bomen). Binnen het bestek van deze literatuurstudie is geen meta-analyse op dit onderwerp gevonden voor agroforestry systemen in gematigd klimaat. In de meta-analyse van Pumariño et al. (2015) werd een afname van onkruid in agroforestry gevonden. De auteurs beschrijven als potentiële mechanismen waarmee agroforestry systemen onkruid onderdrukken: de schaduwvorming in de agroforestry systemen onderdrukt onkruiden (Nestel & Altieri, 1992); de reductie in bodemtemperatuur resulteert in een afname in onkruidzaad ontkieming (Carson, 1989); de bodembedekking door bladval van de bomen zorgt voor een gereduceerde onkruid ontkieming (Midega et al., 2013). Deze theorieën berusten allen op onderzoek en ervaringen opgedaan in tropische agro-ecosystemen, wat vertaling naar de West-Europese context moeilijk maakt.

Opvallend is dat enkele recente studies naar onkruiddruk in agroforestry systemen in Europa, geen stimulerend effect van agroforestry op onkruiddruk in het akkerbouwgewas rapporteren. Zo onderzochten Mézière et al. (2016) de onkruiddruk in een volwassen (20 jaar), gangbaar agroforestry systeem (walnoot – graan/peulvrucht) in Frankrijk. In maart en mei bleek de onkruiddruk (onkruidplant/m²) hoger in de monocultuur, in september bleek dit hoger in het agroforestry systeem. Dit had mogelijk te maken met het verschil in microklimaat tussen deze systemen gedurende de droge, warme zomer van 2015 (Mézière et al., 2016). Ook in een uitgebreidere studie (16 locaties, opnieuw in Frankrijk), werd geen verschil in onkruiddruk gevonden tussen de agroforestry en monocultuur systemen (Boinot et al., 2019). Wel bleken onkruidsoorten die zich verspreiden via horizontale uitlopers (stolons) relatief dominant in agroforestry. Er zijn dus aanwijzingen dat onkruid effectief bestreden kan worden in silvoarable agroforestry systemen, maar verder onderzoek op dit onderwerp zou interessant zijn om zowel onkruidbeheersing te optimaliseren als tegelijkertijd de biodiversiteitswaarde van de onkruid-/plantengemeenschappen in boomstroken optimaal te benutten.

2.2.6 Biodiversiteit

Agroforestrysystemen hebben de potentie om bij te dragen aan een toename van biodiversiteit, zowel op perceel- als op landschapsniveau. De verwachte ecologische voordelen van agroforestry zijn gebaseerd op de toename in systeemdiversiteit; een inherente karakteristiek van agroforestry systemen in vergelijking met monocultuur systemen (Nerlich et al., 2013; Stamps and Linit, 1998). Een toename in systeemdiversiteit kan biodiversiteit via de volgende mechanismen beïnvloeden (Jose, 2012):

- het verzorgen van een (grotere) diversiteit aan habitat, microklimaat, voedsel en schuilgelegenheid;
- het behoud van genetische diversiteit in de vorm van zaden en levend materiaal;
- het verzorgen van corridors en verbindingzones tussen natuurlijke habitats;
- het verbeteren van het algehele leefklimaat door de bijdrage aan overige ecosysteemdiensten, als regulatie van bodem- en waterkwaliteit en het hiermee voorkómen van verdere ecosysteem- en habitat-degradatie.
- Permanente onverstoorde vegetatie (Selin-Norén, 2019)

Er is een grote hoeveelheid literatuur beschikbaar die de effecten van agroforestry systemen op biodiversiteit beschrijft (o.a. Schroth et al., 2004; McNeely & Schroth, 2006; Harvey et al., 2006; Palma et al., 2007; Jose, 2009; Tsonkova et al., 2012). Auteurs rapporteren over de positieve bijdrage van boomstroken op de verspreiding en de diversiteit van loopkevers en spinnen (Varchola & Dunn, 2001; Thevathasan & Gordon, 2004; Oberg et al., 2008; Woodcock et al., 2010), nachtvlinders (Merckx et al., 2010), dagvlinders en andere ongewervelde insecten, o.a. Hymenoptera (gevelegelden) en Hemiptera (halfgevelegelden) (Semere & Slater, 2007; Rowe et al., 2011), bijen (Hill & Webster, 1995), muizen (Klaa et al., 2005; Ouin et al., 2000) en vogels (Thevathasan & Gordon, 2004; Fry & Slater, 2011) in aangelegene akkers. De hoeveelheid organische stof in de bodem is een goede indicator van bodembiodiversiteit. De organische stof in bodem van percelen gelegen bij bomen is hoger dan zonder

bomen. Oftewel, er is een verbeterde bodembiodiversiteit bij agroforestry systemen vergeleken met monoculturen (Selin-Norén, 2019).

Een meta-analyse, uitgevoerd door Torralba et al. (2016) biedt overzicht van de resultaten. De analyse betrof 53 publicaties van voor 2014 in 360 vergelijkingen, die de effecten van Europese agroforestry systemen beschrijven (zowel agrisylvicultuur als silvopastoraal) op ecosysteem diensten, waaronder biodiversiteit. Uit de analyse bleek dat agroforestry een significant positief effect heeft op biodiversiteit (n=65 vergelijkingen). Een meta-analyse specifiek voor biodiversiteit, uitgevoerd door Mupepele et al. (2021), laat echter zien dat het effect van agroforestry op biodiversiteit afhankelijk is van welk type systemen en welke soortgroepen worden onderzocht. De analyse beschouwt 50 publicaties (1991-2019) waarvan ongeveer de helft focust op de mediterrane regio (n=27) en de andere helft op gematigd centraal Europese en boreale klimaten. Over het geheel genomen werd een significante toename gevonden in diversiteit van vogels en geleedpotigen in agroforestry systemen t.o.v. de controle systemen (weides, akkers, bossen en verlate agroforestry systemen) maar de auteurs benadrukken dat de resultaten per studie sterk verschilden en benoemen het omringende landschap als een factor die mogelijk meer effect uitoefent op biodiversiteit dan de toepassing van agroforestry. Anderzijds is agroforestry juist één van de mogelijke manieren om landschappen meer divers en complex te maken, met alle positieve gevolgen voor de lokale biodiversiteit van dien (Bianchi et al., 2006).

Op basis van deze resultaten zou het interessant zijn te onderzoeken welke kenmerken van agroforestry systemen (bijv. ontwerp, beheer, locatie, grondsoort) welke effecten hebben op specifieke soorten en soortgroepen. Daarmee zouden onderbouwde keuzes gemaakt kunnen worden bij het ontwerp en beheer van agroforestry systemen met als doel biodiversiteitsondersteuning. In een literatuurstudie door het Louis Bolk Instituut (De Stigter & Prins, 2023) zijn enkele van de ontwerp- en beheerkeuzes voor agroforestry systemen die invloed hebben op het uiteindelijke biodiversiteitseffect op een rij gezet: de botanische en structurele diversiteit, de ruimtelijke indeling, aanwezigheid van kruidenrijke ondergroei, maaischema en snoei-beheer

Over het geheel beschouwd lijkt agroforestry zeker een positieve bijdrage te kunnen leveren aan biodiversiteit. De specifieke effecten zullen echter altijd afhankelijk blijven van een groot aantal factoren. Verder kan geconcludeerd worden dat biodiversiteit een relatief populair thema lijkt binnen het onderzoek naar agroforestry, zoals bevestigd wordt door Fagerholm et al. (2016b) en een recent afstudeeronderzoek (Lindthart, 2022). In deze analyses werden de publicaties m.b.t. agroforestry en ecosysteemdiensten en de zwaartepunten van het huidige onderzoeksveld onderzocht. Dit biedt inzicht en aanknopingspunten voor toekomstig onderzoek naar ecosysteem diensten van agroforestry. Ontwerptips voor agroforestry systemen die biodiversiteit ondersteunen worden geboden in Selin-Norén (2019) en De Stigter & Prins (2023).

2.3 Overig

2.3.1 Landschapskwaliteit

Uit de meta-analyse door Fagerholm et al. (2016b) blijkt dat socio-culturele ecosysteemdiensten door agroforestry slechts in 17 % van de studies worden meegenomen omdat ze moeilijk te kwantificeren zijn. Wanneer de socio-culturele ecosysteemdiensten wel worden meegenomen, wordt in deze studies voornamelijk gekeken naar de esthetische waarde van het gecreëerde landschap en de recreatieve waarde van deze systemen in het landschap. Er zijn geen kwantitatieve resultaten gevonden voor effecten van agroforestry systemen op kwaliteiten als *'sense of place'*, sociale relaties en kennissystemen. Er is behoefte aan studies die kijken naar sociale en culturele ecosysteemdiensten en de bijdrage van agroforestry aan het menselijk welzijn. Hiervoor zijn hulpmiddelen nodig, met indicatoren die niet-monetair, makkelijk te gebruiken en makkelijk te begrijpen zijn (Fagerholm et al., 2016b).

Landschapsdiversiteit is een brede benadering om landschapskwaliteit in te schatten. Reisner et al. (2007) heeft met gebruik van GIS data van bodem, klimaat, topografie en grondbedekking berekend dat twee derde van het Europees akkerbouwlandschap wordt bedreigd door een (te) lage landschapsdiversiteit, in de vorm van uniforme akkerbouwlandschappen.

Landschapsdiversiteit heeft invloed op onze persoonlijke perceptie van landschapskwaliteit. Door de grote variabiliteit in de ruimtelijke inrichting van een agroforestry landschap en de complexiteit en

diversiteit aan boomedichtheid, -patronen, -clustering bieden deze systemen veel verschillende landschapsstructuren en eigenschappen, die niet aanwezig zijn in bosbouw plantages noch in akkerbouw (Bullock et al., 1994). Uit studies waar gekeken is naar ons menselijke voorkeuren voor verschillende landschapselementen, blijkt dat diversiteit in soortenkeuze, ruimtelijke inrichting en structuur de landschapskwaliteit verhoogt. Voornamelijk worden verticale structuren zoals houtwallen, bomen en struiken in het landschap sterk gewaardeerd (Junge et al., 2015; Hasund et al., 2011). Gebaseerd op deze informatie wordt het duidelijk dat agroforestry potentieel kan bijdragen aan agrarische landschappen die, esthetisch gezien, worden gewaardeerd. Dit effect is ook getoond in een simulatiestudie (Italië) waar landschapsperceptie significant positief verbeterd werd wanneer agroforestry elementen toegevoegd werden in een traditioneel landschap met open kale velden, open maisveld, waterlopen, wandelsporen, heggen, oevers, veldgrasmarges, etc. (Franco et al., 2003). Terwijl dit vrij onbekend is, heeft gematigd (West, Centraal en Oost) Europa een lange traditie gehad van gebruik van agroforestry systemen die Streuobst genoemd worden. Herzog et.al. (1998) schrijft dat deze traditionele boomgaarden met grasland of akkerbouw nog steeds bestaan op totaal ongeveer 1 miljoen hectare in 11 verschillende Europese landen. In Duitsland bijvoorbeeld, worden deze landshappen beschermd tegen versimpeling en specialisatie, door belangrijke socio-culturele functies en sterke acceptatie van burgers, wat deels door landschapsesthetiek komt. Dit model heeft zich bewezen en is wellicht interessant als basis en leermodel voor toekomstige agroforestry systemen. De percepties over agroforestry werden door middel van enquêtes geëvalueerd bij 30 verschillende groepen van belangstellenden voor agroforestry in Europa. De groepen waren boeren, landeigenaren, landbouwadviseurs, onderzoekers en milieuactivisten. In het algemeen vinden ze dat agroforestry een hoog potentieel heeft om bij te dragen aan de landschapskwaliteit en -esthetiek. De agroforestry systemen die hoog scoorden op landschapsesthetiek inclusief een hoge, ingeschatte culturele waarde, waren voornamelijk weilanden met bomen en in minder mate akkerbouw met bomen (Jalón et al., 2018).

In contrast tot de positieve perceptie van reeds vermelde belangstellenden, heeft het algemene publiek een meer neutrale kijk op agroforestry. Een studie uit de VS beschrijft dat het algemene publiek een neutraal oordeel heeft over landschapskwaliteit, natuur- en landbouw educatie, recreatie en behoud van het agrarisch, cultureel erfgoed, vergeleken met gangbare akkerbouw praktijken (Gao et al., 2014). Gelijke resultaten zijn gevonden in een tweede studie bij *Dehesa* systemen in Spanje. *Dehesas* zijn weilanden met bomen en struiken die vaak begrast worden door landbouwdieren, bijvoorbeeld varkens en vleesvee. In Portugal heten dit type systemen *Montado*. De deelnemers in de enquête scoorde deze agroforestry systemen even hoog als andere landgebruik systemen zoals akkerbouw. Wat dit resultaat heeft kunnen beïnvloeden is dat de *Dehesas* vaak niet toegankelijk zijn voor publiek (Fagerholm et al., 2016a). Een andere studie toont dat de *Dehesa* en *Montado* eigenaren 30% van het waarde van het land toeschrijven aan persoonlijke voordelen, zoals landschapsbeleving, recreatie met familie en vrienden en bewaren van cultureel erfgoed (Campos et al., 2009). Deze bovenstaande resultaten beschrijven dat mensen vaak behoudend zijn in hun perceptie en waardeoordeel over agrarische landschappen. Wanneer ze weinig ervaring hebben met het concept en landbouwsysteem agroforestry zijn ze niet geneigd om positieve aspecten toe te schrijven aan dit productiesysteem. Dit overlapt met resultaten uit een andere studie uit de VS, die onderstrepen dat de hoogte van de perceptie en oordeel over de economische waarde van agroforestry, de hoogte in het gebruik ervan voor recreatie positief beïnvloedt (Barbieri & Valdivia, 2010).

2.3.2 Diergezondheid, dierenwelzijn en natuurlijk gedrag

Diergezondheid, dierenwelzijn en natuurlijk gedrag kunnen niet los van elkaar worden gezien. Diergezondheid gaat over zowel de fysieke als de mentale toestand van een dier. Een goede diergezondheid draagt bij aan het welzijn van dieren en is ook nauw verbonden met de volksgezondheid. Lang waren de 'vijf vrijheden van Brambell' leidend in het denken over dierenwelzijn. Een recente ontwikkeling in de wetenschappelijke benadering van dierenwelzijn is de ontwikkeling van positief dierenwelzijn. Positief dierenwelzijn wordt gerelateerd aan het ervaren van een positieve mentale toestand als gevolg van belonende ervaringen, inclusief het hebben van keuzes en kansen om actief doelen na te streven en gewenste resultaten te bereiken (Rault et al., 2025)

Belang van veerkracht

Op hoofdlijnen kunnen we onderscheid maken in twee strategieën om te zorgen dat dieren gezond blijven bij mogelijke verstoringen of uitdagingen, namelijk de afschermstrategie en de veerkrachtstrategie (Plomp et al., 2025). De afschermstrategie is gericht op het zoveel mogelijk be- of afschermen van de dieren, de stal of het hele bedrijf. De tweede strategie, de veerkrachtstrategie, richt zich op het ondersteunen van dieren om zo goed mogelijk met verstoringen om te kunnen gaan, zonder ze ervan af te schermen. Door het creëren van meer diversiteit en keuzemogelijkheden in de (leef)omgeving en rantsoen kunnen dieren zich beter aanpassen aan verstoringen. Zo zijn varkens die opgroeien in een verrijkte omgeving beter bestand tegen longinfecties dan varkens die opgroeien in een "kale" omgeving (van Dixhoorn, 2024). Er wordt gedacht dat blootstelling aan allerlei lichte verstoringen nodig is om dieren robuuster te maken. Meer aandacht voor veerkracht kan een aanvullende strategie zijn om de diergezondheid te verbeteren en de impact van dierziekten te verminderen (van Dixhoorn, 2024)

Agroforestry biedt potentieel kansen voor het vergroten van de veerkracht van dieren, en het verder ontwikkelen van de veerkrachtstrategie doordat de (bio)diversiteit van het bedrijf en de leefomgeving toeneemt (Plomp et al., 2025). Dieren krijgen daarmee meer keuzemogelijkheden binnen hun leefomgeving, en meer mogelijkheden voor het vertonen van natuurlijk gedrag wat ook bij kan dragen aan positief dierenwelzijn. Er is nog weinig informatie over het daadwerkelijke effect van bomen en struiken op gedrag en fysiologische reacties van koeien. Daarnaast zullen effecten afhankelijk zijn van locatie, weersomstandigheden, specifieke uitvoering en andere factoren in het bedrijfsmanagement.

Extreme weersomstandigheden

Agroforestry kan beschutting bieden tegen extreme weersomstandigheden in de wei, zowel tegen hitte als kou. Vanaf zo'n 21°C en bij hoge luchtvochtigheid kunnen melkkoeien hittestress ervaren. Hittestress kan leiden tot een lagere voeropname en melkproductie, en een grotere kans op gezondheidsproblemen waaronder klauwproblemen, mastitis, baarmoederontsteking, pensverzuuring en verminderde vruchtbaarheid. (Plomp et al., 2025). Bomen en struiken kunnen schaduw bieden en daarmee hittestress verminderen. Daarbij is voldoende schaduwoppervlak voor alle dieren belangrijk om onrust en onderlinge strijd te voorkomen. Weinig schaduw (ca 2.5 m² per koe of minder) veroorzaakt onrust en agressie. Aanbevelingen in de literatuur voor de gewenste hoeveelheid schaduw variëren tussen 3,5 en 5,6 m² per melkkoe (Van laer et al., 2014). Hagen en houtwallen kunnen door het verminderen van de windsnelheid de gevoelstemperatuur verhogen.

Beschutting zorgt ervoor dat verlies van lichaamswarmte sterk verminderd kan worden (Van laer et al., 2014), wat het welzijn van de dieren verbetert. Houtwallen of boomrijen kunnen een windstille en drogere plek bieden tijdens harde wind en regen. Situaties buiten de thermoneutrale zone zijn in de Nederlandse situatie zeldzaam. Maar ook tijdelijk koudere omstandigheden (lage temperatuur in combinatie met neerslag en wind) kunnen negatieve effecten hebben op het welzijn en prestaties van runderen (Van Laer et al., 2014).

Natuurlijk gedrag

De mogelijkheid om beschutting van bomen of struiken te zoeken kan ook een vorm van bescherming en veiligheid bieden. Zo rusten koeien graag op plekken waar beschutting aanwezig is, waarschijnlijk om zichzelf (bewust of onbewust) te beschermen tegen predatoren (Van laer et al., 2014). Daarnaast zoeken runderen graag een beschutte plek tijdens het kalven (Lidfors et al., 1994; Proudfoot et al., 2014). Beschutting is dus niet alleen belangrijk bij extreme weersomstandigheden, maar komt ook ten goede aan het natuurlijke gedrag van koeien.

Grazers, zoals koeien, zijn evolutionair aangepast om vooral gras te eten. Ze kunnen minder goed omgaan met de chemische en fysische kenmerken van bomen en struiken dan browsers. Toch eten koeien van nature ook van bomen en struiken, waarschijnlijk om aan specifieke voedingsbehoeften te voldoen. Dit kunnen bepaalde mineralen of sporenelementen zijn, of secundaire plantengestoffen zoals tannines met een mogelijk effect op diergezondheid. (Gordon et al., 2019).

Er zijn weinig onderzoeksresultaten over de hoeveelheid browse (bladeren en twijgen) die koeien eten. Onder normale omstandigheden met een volwaardig rantsoen zal dit zeer beperkt zijn. In een Nederlands onderzoek werd een opname uit wilgen- en elzenbladeren en twijgen berekend van minder dan 1% van het rantsoen. Koeien eten alleen dunnere twijgen tot ca 7 à 9 mm doorsnede. Koeien moeten leren om nieuwe planten te eten, waarbij jonge dieren dit makkelijker leren dan oudere. Hongerige en zieke dieren hebben meer de neiging om andere planten te eten. (Estell et al., 2012).

Zelfverzorgingsgedrag, zoals schuren en likken van de huid, is belangrijk voor koeien. Wanneer bomen beschikbaar zijn worden deze dan ook veelvuldig gebruikt om tegenaan de schuren (Kohari et al., 2007), (Wilson et al., 2002). Bomen zijn dus een belangrijke verrijking om het verzorgingsgedrag van koeien in de weide te faciliteren.

Aanwezigheid van verschillende bomen en struiken geeft dieren de mogelijkheid tot een meer divers dieet en zelfmedicatie. Bomen en struiken bevatten secundaire plantenstoffen of metabolieten (PSM). Tannines zijn een belangrijke groep PSM. Tannines hebben antimicrobiële eigenschappen die potentieel kunnen bijdragen aan een verbeterde diergezondheid. Een belangrijk effect van tannines is de antiparasitaire werking bij maagdarmwormen. Dieren selecteren planten met anthelmintische eigenschappen voor zelfmedicatie (Lisonbee et al., 2009). Veel voorbeelden van zelfmedicatie bij dieren zijn anekdotisch (Wagenaar et al., 2017). Veehouders kunnen inspelen op dit natuurlijke gedrag door het aanbieden van een gevarieerd rantsoen met verschillende kruiden, struiken en bomen, en het creëren van een omgeving waarin koeien hun natuurlijke gedrag kunnen uiten.

Naast tannines kunnen bomen andere secundaire stoffen bevatten met een mogelijk positief effect op gezondheid. De belangrijkste zijn flavonoïden, saponinen, slijmstoffen en salicylaten.

Wanneer het aanbod uit verschillende boomsoorten bestaat, en het aandeel in het rantsoen klein is, bestaat er weinig risico op te grote inname van anti-nutritionele componenten. De kans op vergiftiging is dan heel klein (Asseldonk, 2012). Herkauwers zijn minder gevoelig voor gifstoffen dan éénmagige dieren (zoals paarden), omdat veel gifstoffen worden afgebroken door fermentatie in de pens (Groot, 2022).

Vliegen en teken

Er is weinig informatie over de aanwezigheid van vliegen en teken in (moderne) agroforestry systemen, en hun invloed op diergezondheid en dierenwelzijn. Vliegen kunnen ziektes overbrengen zoals zomerwrang en houw, maar ze zijn voor het vee ook erg irritant doordat ze steken, zoemen en jeuk kunnen veroorzaken. In agroforestry systemen zijn veel beschutte plekken rond bomen en struiken waar insecten zich graag ophouden. Dit zorgt voor een grotere kans op overlast vergeleken met "kale" weidesystemen. Anderzijds kunnen bomen en struiken zorgen voor meer biodiversiteit waaronder plaagbestrijders. Zo vertoonden agroforestry systemen in Brazilië een belangrijke toename in verschillende insectenfamilies met bestuivers en natuurlijke plaagbestrijders ten opzichte van monocultuurgraslanden (Paiva et al., 2020). Ook vogels en vleermuizen die baat hebben bij bomen en struiken in hun leefomgeving, kunnen bijdragen aan plaagonderdrukking.

Naast vliegen kunnen teken een risico vorm voor dieren in de weide. Teken zijn slecht bestand tegen felle zon, waardoor ze zich graag schuilhouden in struiken en bosjes. Agroforestrysystemen zouden daardoor een groter risico vormen op teken. Teken kunnen infecties overdragen zoals anaplasmose (weidekoorts) of babesiose. Circa 4% van de teken in Nederland is besmet met anaplasmose, maar het is niet duidelijk hoeveel koeien daadwerkelijk besmet worden met anaplasmose na een tekenbeet. Anaplasmose en babesiose kunnen leiden tot ernstig zieke koeien, met koorts, productiedaling, verminderde eetlust en zelfs sterfte, al is het risico door de lage besmettingskans hierop klein.

Er wordt gedacht dat kalveren een zekere mate van natuurlijke immuniteit hebben die na blootstelling aan teken overgaat in opgebouwde specifieke immuniteit. Oudere koeien worden dan doorgaans niet of weinig ziek van deze overdraagbare ziektes (Booij, 2006).

3 Barrières & lock-ins

Ondanks de diverse diensten die agroforestry systemen kunnen leveren en die zowel het landbouwbedrijf als de maatschappij ten goede kunnen komen, kunnen diverse barrières en lock-ins de adoptie van agroforestry door agrariërs belemmeren. Dit hoofdstuk gaat in op de sociaaleconomische en technische barrières.

3.1 Sociaaleconomische lock-ins

3.1.1 Regelgeving en bestaand subsidiestelsel

Zowel in de inventarisatie door Luske et al. (2016) als door Borremans et al. (2016) wordt regelgeving als een belangrijke potentiële barrière voor de adoptie van agroforestry geïdentificeerd. De onzekerheden over legaliteit van handelingen omtrent agroforestry waren volgens Shrestha et al. (2004) ook de meest hinderende factor voor agroforestry adoptie in Florida, USA. In Nederland wordt deze barrière onder andere veroorzaakt door de strikte scheiding in de Nederlandse regelgeving tussen 'natuur' en 'landbouw' (Luske et al., 2016), als de onduidelijkheid over mogelijkheid van kap die daaruit volgt (Borremans et al., 2016). In Nederland wordt aanplant van bomen met een oppervlakte groter dan 1000 m² of bestaande uit één of meer rijen met meer dan 20 bomen gedefinieerd als 'houtopstand'. Houtopstanden worden gezien als natuur en beschermd in de Nederlandse Wet Natuurbescherming (WNB). Dit heeft als gevolg dat voor houtopstanden een herplantplicht geldt en dat kappen of verplaatsen dus niet zomaar mag (RVO, 2022a). Wanneer geen kapvergunning wordt afgegeven na 20 à 30 jaar, zou dit een verlies van kapitaal kunnen betekenen voor de agrariër (Borremans et al., 2016). In aanvulling op regels rondom kap en herplantplicht, kan het plaatsen van houtige gewassen die gedefinieerd worden als houtopstand er toe leiden dat de bestemming van het land verandert van landbouw naar natuur. Dit zou een grote daling in landprijs en daarmee opnieuw een verlies van kapitaal kunnen betekenen. Ten slotte verliest de agrariër de standaard GLB-hectaretoeslagen (basispremie) wanneer de bestemming verandert van landbouw- naar natuurgrond (Luske et al., 2016). Voor overgegaan kan worden tot aanleg van agroforestry systemen moet bovendien nog rekening gehouden worden met eventuele aanvullende regels rondom Natura 2000-gebieden of bij natuurlijke of culturele waarden zoals openheid van het landschap of weidevogelgebied (Boxtel et al., 2025).

In de regelgeving van de WNB zijn echter wel enkele relevante uitzonderingen vastgelegd van houtaanplanten die niet onder de definitie van houtopstanden vallen. Dit zijn aanplanten die duidelijk een productief doel dienen en dus een duidelijke vorm van landbouw zijn, zoals fruit- en notenbomen. Bovendien kan ontheffing van de herplantplicht worden aangevraagd bij de provincie en via overleg met de lokale gemeente is het mogelijk om te voorkomen dat de bestemming van grond wijzigt van landbouw naar natuur (Boxtel et al., 2025). Hoewel de stapeling van wetten en regels onduidelijk kan overkomen en dus een drempel kan zijn om te starten met agroforestry, zijn er wel mogelijkheden.

De nationale wetgeving rondom landbouw hangt samen met reglementen in het Europese Gemeenschappelijk Landbouw Beleid (GLB). Hoewel in eerdere inventarisaties bleek dat GLB-regelementen agroforestry adoptie konden hinderen (Lawson et al., 2016; Tsonkova et al., 2016), zijn er per 2023 enkele veranderingen doorgevoerd die deze belemmeringen (gedeeltelijk) wegnemen. Eén van deze veranderingen is dat oppervlakte van landbouwgrond met niet-productieve houtopstanden nu wel meetelt voor de basispremie (RVO, 2022c). Daarbovenop kan via de zogenaamde eco-regeling een aanvullende hectarepremie verkregen worden bij aanplant van houtige landschapselementen (RVO, 2022b). Zowel door RVO¹ als door het Agroforestry Netwerk Nederland² zijn recentelijk enkele documenten gepubliceerd om de wet- en regelgeving rondom agroforestry voor agrariërs te verduidelijken.

¹ Zie <https://www.rvo.nl/onderwerpen/basispremie-en-extra-betaling/agroforestry>

² Zie <https://www.agroforestrynetwerk.nl/werkgroep/4-taskforce-wet-regelgeving>

Binnen Nederland zijn ook voorbeelden hoe regionale regelgeving en subsidies agroforestry adoptie succesvol kunnen stimuleren. Het Groen Ontwikkelfonds Brabant (2014) is opgericht door de provincie Noord-Brabant en kent financiële middelen toe aan agrariërs die agroforestry willen implementeren op hun bedrijf. Dit is terug te zien in het relatief hoge aantal agroforestry systemen in Noord-Brabant (63) t.o.v. het Nederlandse totaal (154) in 2021 (Prins et al., 2021). In 2022 konden boeren in Gelderland subsidie aanvragen voor aanplant van agroforestry systemen, waarmee tot 75% van de kosten vergoed werden door de provincie. Deze subsidie is in volgende jaren opnieuw beschikbaar gesteld, zowel in Gelderland als in Utrecht³. Bovendien zijn in meerdere provincies (met behulp van provinciale financiering) netwerken opgericht waar boeren informatie kunnen uitwisselen en verzamelen over agroforestry. Dit is in 2021 versterkt met de oprichting van het Agroforestry Netwerk Nederland. Zowel de subsidiemogelijkheden als de (lokale) uitwisseling van kennis kunnen een belangrijke bijdrage leveren om sociaaleconomische barrières weg te nemen.

3.1.2 Investerings, kosten en inkomsten

Voor de aanplant van agroforestrysystemen zijn vaak hoge investeringen nodig (plantgoed, steun- en beschermingsmateriaal, evt. mechanisatie, drainage of irrigatie) (van Vooren et al., 2016; Graves et al., 2009), wat als barrière ervaren kan worden door stakeholder van agroforestry (Tranchina et al., 2024). Voor elke zakelijke investering geldt dat deze alleen economisch rendabel is als de verwachte opbrengsten minstens even hoog zijn als de verwachte kosten. Ondanks onzekerheden over uiteindelijke economische rendabiliteit zijn er ook in Nederland pioniers die al hebben durven investeren in agroforestry.

Wigboldus et al., 2022, geeft aan dat het verdienmodel een rekensom is van Baten (opbrengst * prijs) – Kosten + Betaling diensten, en schetst dat in brede zin van het woord onder verdienmodel echter niet alleen de financiële uitkomst valt, maar ook alle keuzes die de ondernemer maakt om tot die financiële uitkomst te komen. In het zoeken naar mogelijkheden om de kansrijkheid van agroforestry in Nederland te vergroten, zijn beide interpretaties van het verdienmodel nuttig, aldus Wigboldus et al.

Inkomsten uit productiediensten

Het scala aan producten dat geoogst kan worden uit houtige gewassen is zeer uitgebreid en omvat zowel voedsel, veevoer, bouwmaterialen en energie uit biomassa. Of agroforestry systemen kunnen concurreren met niet-agroforestry systemen, gebaseerd op inkomsten uit productiediensten, is van meerdere factoren afhankelijk, zoals 1) de prijs die verkregen wordt voor de producten van houtige gewassen; 2) de hoogte van de Land Equivalent Ratio (LER) van het agroforestry systeem (zie paragraaf 2.1.1.); 3) groeisnelheid van houtige gewassen (en daarmee oogstfrequentie) en 4) boomedichtheid (aantal bomen per hectare). Uiteindelijk spelen natuurlijk ook de investeringskosten, de benodigde arbeid- en mechanisatiekosten en de lokale (bodem)omstandigheden een rol. De invloed van deze factoren blijkt uit diverse onderzoeken waarin agroforestry systemen vergeleken werden met één of meer lokale niet-agroforestry systemen ter referentie, zoals een volledig akkerbouw- of volledig bosbouwsysteem (op basis van case studies uit o.a. Spanje, Nederland, Frankrijk, Zwitserland, Denemarken, Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Portugal, Griekenland, Roemenië en Kroatië) (Giannitsopoulos et al., 2020; Graves et al., 2007; Kay et al., 2019a; Sereke et al., 2015; Thiesmeier & Zander, 2023; Xu et al., 2019; Žalac et al., 2021). Keuzes zoals boomsoort en boomedichtheid (die ook de LER van het systeem beïnvloeden (Graves et al., 2007), zijn dus erg belangrijk in het ontwerp van een rendabel agroforestry systeem. Het belang van deze keuzes wordt nog eens vergroot door het feit dat agroforestry systemen aangelegd worden voor de lange termijn. Ook voldoende kennis en intensief management van de houtige gewassen zijn belangrijke factoren die het economische succes van agroforestry systemen kan vergroten (Thiesmeier & Zander, 2023).

In Selin-Norén et al., 2019 wordt een aantal fictieve scenario's geschetst van de opbrengsten die verwacht kunnen worden van houtige gewassen in combinatie met akkerbouw. Hierbij is aangenomen dat in een goed ontworpen agroforestrysysteem de opbrengst van het houtige gewas en de opbrengst van het akkerbouwgewas samen méér is dan bij het telen van alleen een akkerbouwgewas.

³ Voor een actueel overzicht van subsidieregelingen, zie <https://kennisbank.agroforestrynetwerk.nl/subsidies-financiering/>

Opbrengstverhogingen of kostenbesparingen in silvopastorale systemen

Gunstige effecten van agroforestry systemen op vee is een vaak genoemde en veelbesproken reden waarom huidige pioniers met agroforestry begonnen zijn. Timmerman et al. (2018) maken een eerste inschatting van de mogelijke kostenbesparingen van het voorkomen van hittestress. Hittestress kan namelijk een daling tot 12% van de melkproductie tot gevolg hebben. Dit effect is groter bij 2e en 3e kalfskoeien, bij Holstein koeien en koeien met een hoge dagelijkse melkproductie. Schaduwverstreking daarentegen kon leiden tot 5% meer melkproductie. Daarnaast kan hittestress een daling van vet- en eiwitgehalte teweegbrengen, tot respectievelijk 16 en 17%. Tenslotte is tijdens warme perioden het tankmelkcelgetal hoger. Voor een melkveebedrijf met 100 koeien, met een melkproductie van 8500 kg melk per koe werden de verminderde melkopbrengsten en toename in kosten door hittestress ingeschat op €3000 -€5600 per jaar, afhankelijk van het aantal warme dagen.

Er is echter nog weinig bewijs over de financiële gevolgen van dergelijke effecten uit de praktijk. Er is wel anekdotisch bewijs dat deze gevolgen substantieel kunnen zijn. Een grote pluimveehouderij (64.000 kippen) in het VK geeft aan dat dankzij het planten van bomen in hun kippenuitloop, twee procent meer eieren in de hoogste kwaliteitsklasse verkocht kunnen worden (The Woodland Trust, 2015). Daarmee zeggen ze de aanplantkosten (£2000 per ha in 2015) binnen zes maanden terug te kunnen verdienen. Twee Britse schapenhouders hebben na het planten van bomen in hooggelegen weides, de beschutting voor hun dieren sterk zien toenemen (The Soil Association, z.d.). Als gevolg hiervan kan één van de twee schapenhouders zijn schapen eerder laten aflammeren, nog in de periode van schaarste, waardoor hij zijn vlees eerder op de markt kan brengen dan anderen en hierdoor een betere prijs voor zijn product krijgt. De andere schapenhouder heeft dankzij de extra beschutting over kunnen schakelen op een beter producerend en daarmee winstgevendere schapenras, dat normaal alleen gehouden wordt in laaggelegen gebieden.

Inkomsten uit betaling voor (ecosysteem)diensten

De verwachtingen rondom ecologische prestaties van agroforestry systemen zijn hoog en betaling voor (ecosysteem)diensten zou een interessante manier kunnen zijn om de periode tussen investeringen en inkomsten uit houtige gewassen te helpen overbruggen. Dit blijkt ook uit enkele recente, internationale studies waarin geanalyseerd werd wat de economische en ecologische prestaties zijn van diverse agroforestry en niet-agroforestry systemen (volledige akkerbouw of bosbouw systemen). Giannitsopoulos et al. (2020) gebruikte hiervoor een boom- en gewassimulatiemodel (Yield-SAFE) en een bio-economisch model (Farm-SAFE) gebaseerd op case studies van volledige akkerbouwsystemen, agroforestry systemen en volledige bosbouwsystemen in de Britse, Spaanse en Zwitserse context. In alle case studies resulteerden akkerbouwsystemen in de hoogste winst, maar ook de hoogste negatieve milieu-impact. Wanneer de maatschappelijke kosten van milieu-impacts op het gebied van CO₂-emissies, koolstofopslag, bodemerrosie door water, stikstof- en fosfaatverliezen doorberekend werden, waren de financiële uitkomsten van het agroforestry- en bosbouwsysteem hoger of gelijk aan het akkerbouwsysteem in de Britse context. In de Spaanse context was dit niet het geval. In de Zwitserse context bleven het akkerbouw- en het agroforestry systeem voor boeren financieel aantrekkelijker dan het bosbouwsysteem, ook wanneer milieukosten doorberekend worden, vanwege hoge agrarische subsidies. Aan de hand van een break-evenanalyse werd bepaald dat een prijs van €16 per ton CO₂ óf een stikstofprijs van €3-€6 per kg N genoeg was om de winstgevendheid van Britse akkerbouw- en agroforestry systemen gelijk te trekken, zonder doorberekening van overige milieukosten.

Een dergelijk resultaat werd ook gevonden in een studie door Kay et al (2019a) waarin 11 Europese agroforestry systemen (in Portugal, Griekenland, Spanje, Roemenië, Zwitserland, Duitsland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk) vergeleken werden met lokale traditionele landbouwpraktijken. Wanneer alleen de monetaire waarde van voedsel- en biomassa productie meegenomen wordt, zijn traditionele landbouwpraktijken in de Atlantische en continentale regio's winstgevender dan de agroforestry systemen. Wanneer monetaire waardes worden toegeschreven aan een breder scala aan ecosysteemdiensten (zoals grondwateraanvulling, nutriëntenverlies, bodemverlies, koolstofopslag en bestuivingstekorten), neemt de relatieve winstgevendheid van agroforestry systemen toe. Dit is gerelateerd aan zowel lagere negatieve externe effecten van nutriënten- en bodemverlies, als aan grotere positieve externe effecten wat betreft koolstofopslag. In de Atlantische regio's was een prijs van ongeveer €30 per ton C of een prijs van €2,5 per kg N nodig om de winstgevendheid van agroforestry en traditionele systemen gelijk te trekken.

Economische barrières

Er blijkt dat er nog weinig economische data van volwassen Nederlandse agroforestry systemen beschikbaar zijn. Behalve voor de boomkwekerij- en de fruitteeltsector, zijn er bovendien geen KWIN-getallen⁴ voor producten van houtige gewassen. Dat vergroot de onzekerheid over winstgevendheid en rendabiliteit van agroforestry systemen en maakt het lastig om de economische prestaties van een agroforestry systeem te vergelijken met een bestaand akkerbouw-, veehouderij- of bosbouwsysteem. Deze vergelijking is voor boeren wel belangrijk om een eventuele overstap naar agroforestry te maken⁵ (Giannitsopoulos et al., 2020) en gebrek aan economische data is dus een barrière voor adoptie van agroforestry. Daarbij komt dat er nog veel te leren is over moderne agroforestry systemen in de Nederlandse context en volwassen succesvolle praktijkvoorbeelden schaars zijn (zie ook paragraaf 1.1.3). Dit kan resulteren in een periode van trial en error, met ontwerpfouten en bijbehorende opbrengstverliezen, tot systemen geoptimaliseerd zijn. Dit maakt concurrentie met de huidige West-Europese, gespecialiseerde, gemechaniseerde en intensieve landbouwsystemen (die in de afgelopen 70 jaar geoptimaliseerd zijn) een uitdaging. Ook ervaren stakeholders van agroforestry een barrière betreffende de onzekerheid van de markt, marketing, supply chain en banen in agroforestry (Tranchina et al., 2024).

De onregelmatigheid in cashflow en de lange aanlooptijd tussen investeringen en eerste opbrengsten kan eveneens een drempel zijn voor ondernemers. Pas na meerdere jaren komt fruit-, noten- of biomassa productie op gang. In het geval van houtproductie beperken de inkomsten zich zelfs tot éénmaal per enkele decennia. Tot die tijd lopen ondernemers wel risico i.v.m. investerings- en onderhoudskosten. De analyse van Žalac et al. (2021) naar cumulatieve winst van een agroforestry systeem met walnoten en akkerbouwgewassen vs. een volledig akkerbouwsysteem laat bijvoorbeeld zien dat het volledige akkerbouwsysteem een positieve en relatief consistente cashflow opleverde, terwijl de agroforestry systemen in de jaren vóór walnootproductie (jaar 1-7) negatieve cijfers draaien. Hoewel na 20 jaar de cumulatieve winst in de agroforestry systemen hoger was dan in de volledige akkerbouwsystemen, moeten ondernemers wel voldoende kapitaal hebben of kunnen verkrijgen om die aanlooptijd te overbruggen.

Een volgende barrière voor het realiseren van een positief verdienmodel, is het vinden van voldoende afzetmogelijkheden. Verkoop van producten uit de houtige gewassen van het agroforestry systeem wordt door huidige Nederlandse pioniers voornamelijk gerealiseerd via lokale ketens of directe verkoop aan de consument. Dit past bij het feit dat huidige Nederlandse agroforestry systemen kleinschalig zijn (enkele hectares) (Prins et al., 2021). Opzetten of gebruik maken van lokale afzetkanalen of directe verkoop vraagt om (tijds-)investeringen en specifieke kwaliteiten die niet bij elke agrariër passen. Anderzijds is instappen op een bestaande, landelijke afzetketen lastig omdat dan geconcentreerd moet worden met gespecialiseerde bedrijven (bijvoorbeeld in de fruitteelt) en meestal een bepaalde schaal-efficiëntie nodig is om rendabel te kunnen produceren. Dit vraagt om hogere investeringen. Een voorbeeld is het project 'Kiplekker onder de wilgen' waarin enkele pluimveehouders geëxperimenteerd hebben met aanleg van wilgenplantages in de kippenuitloop, met als doel biomassa productie. Dit bleek echter niet rendabel op kleine schaal (rond 1 ha) (Boosten & Penninkhof, 2016). Oftewel, zowel het realiseren van een lokaal afzetkanaal of het instappen op een bestaand afzetkanaal kan een barrière vormen.

De laatste drempel zijn de tot nu toe beperkte mogelijkheden om inkomsten te behalen uit ecosysteemdiensten. Uit meerdere studies (Giannitsopoulos et al., 2020; Kay et al., 2019a, Thiesmeier & Zander, 2023) blijkt dat het invoeren van prijzen voor opslag van CO₂ of uitstoot van stikstof een grote bijdrage kan leveren aan de relatieve winstgevendheid van agroforestry systemen. Op dit moment is zogenaamde *true pricing*, het doorberekenen van maatschappelijke kosten en baten, in Nederland nog niet wettelijk ingevoerd. Er is sinds 2021 wel een methode om op vrijwillige basis koolstofcertificaten aan te vragen voor de vastlegging van CO₂ in hout (Boosten & Snoep, 2021). De eerste verkenning of dit een interessant verdienmodel op kan leveren voor agroforestry boeren, is voorzichtig positief maar concludeert ook dat er nog veel kinderziektes op te lossen zijn (Reichgelt et al., 2022). Ten slotte, zou de eco-regeling (zie 3.1.1) gezien kunnen worden als een betaling voor de ecologische waarde van houtige gewassen, maar het is nog onbekend of dit de benodigde investeringen en kosten kan gaan dekken.

⁴ KWIN staat voor Kwantitatieve Informatie. KWIN-publicaties zijn naslagwerken met technische, administratieve, markt- en bedrijfskundige aspecten van Nederlandse teelten verzameld door WUR. Zie ook <https://www.wur.nl/nl/product/handboek-kwantitatieve-informatie-veehouderij-kwin.htm> en <https://www.wur.nl/nl/show/kwin-agv.htm>

Bovendien is dit gekoppeld aan de oppervlaktes van houtige elementen, niet aan de resultaten m.b.t. geleverde diensten.

3.1.3 Kennis & management

In diverse enquêtes benoemen agrarisch ondernemers de complexiteit van het management van het agroforestry bedrijfssysteem als een van de belangrijkste barrières voor adoptie van agroforestry systemen (Graves et al., 2009; Camilli et al., 2016; Borremans et al., 2016). In een survey onder Zwitserse boeren (n=50) (verdeeld in agroforestry adopters en non-adopters, classificatie gebaseerd op hun, al dan niet uitgesproken intentie om in de nabije toekomst agroforestry percelen aan te planten) bleken de boeren geen vertrouwen te hebben in het zelf kunnen managen van een agroforestry perceel, waarbij non-adopters significant minder vertrouwen hierin hadden dan adopters (Sereke et al., 2015).

Kennis over bomenproductie op agroforestry-schaal is minder voor handen in vergelijking met eenjarige gewassen. Daarbij is de kennis opgedaan bij gewasonderzoek maar beperkt toepasbaar in de agroforestry context (Ickowitz et al., 2022). Volgens het onderzoek van Tranchina et al. (2024) is het ontbreken van technische en agronomische kennis omtrent agroforestrysystemen het grootste obstakel voor stakeholders in de sector. Relevante uitgangspunten voor onderzoek hebben vaak betrekking tot het ontwerp van het agroforestry systeem; effect op opbrengst en kwaliteit van akkerbouwgewas, boomsoorten, ruimtelijke inrichting, vermarkting van producten, aanlooptijd tot productie, beheer, invloed op arbeidskosten, impact van de ecosysteemdiensten en de afwenteling tussen windbreekfunctie en productiefunctie. Criteria voor een goed ontwerp zijn (Selin-Norén & Schoutsen, 2022):

- Opschaalbaarheid tot de gangbare praktijk
- Realistische toepasbaarheid voor de boer (markt, arbeid, etc.)
- Aansluiting inrichting en culturele identiteit landschap
- Voldoende beschikbaarheid van kennis
- Positief effect op ecosysteemdiensten (zoals besproken in hoofdstuk 2)

Verschillende onderzoeksprogramma's (o.a. SAFE, AGFORWARD, AFINET), verenigingen (o.a. Farm Woodland Forum in Engeland, French Agroforestry Association) en netwerken van boeren en onderzoekers (o.a. Agroforestry Vlaanderen, Agroforestry Netwerk Nederland, incl. de afzonderlijke provinciale netwerken) zijn de laatste twee decennia opgericht, o.a. ter bevordering van kennisontwikkeling en -implementatie van moderne agroforestry systemen in Europa (Louah et al., 2017). Waar de EU-projecten SAFE en AGFORWARD kennisimplementatie en het stimuleren van agroforestry adoptie als subdoel hadden, heeft het EU-project AFINET het als hoofddoelstelling aangenomen (AFINET, 2017). Graves et al. (2017) en Louah et al. (2017) adviseren peer-to-peer leer- en innovatietrajecten, waarbij boeren volwassen agroforestry percelen bezoeken in omliggende regio's. Daarnaast benoemt Louah et al. (2017) dat een brede ecologische educatie noodzakelijk is voor alle betrokken stakeholders in het agroforestry adoptie- en mainstreaming-proces.

3.1.4 Perceptie

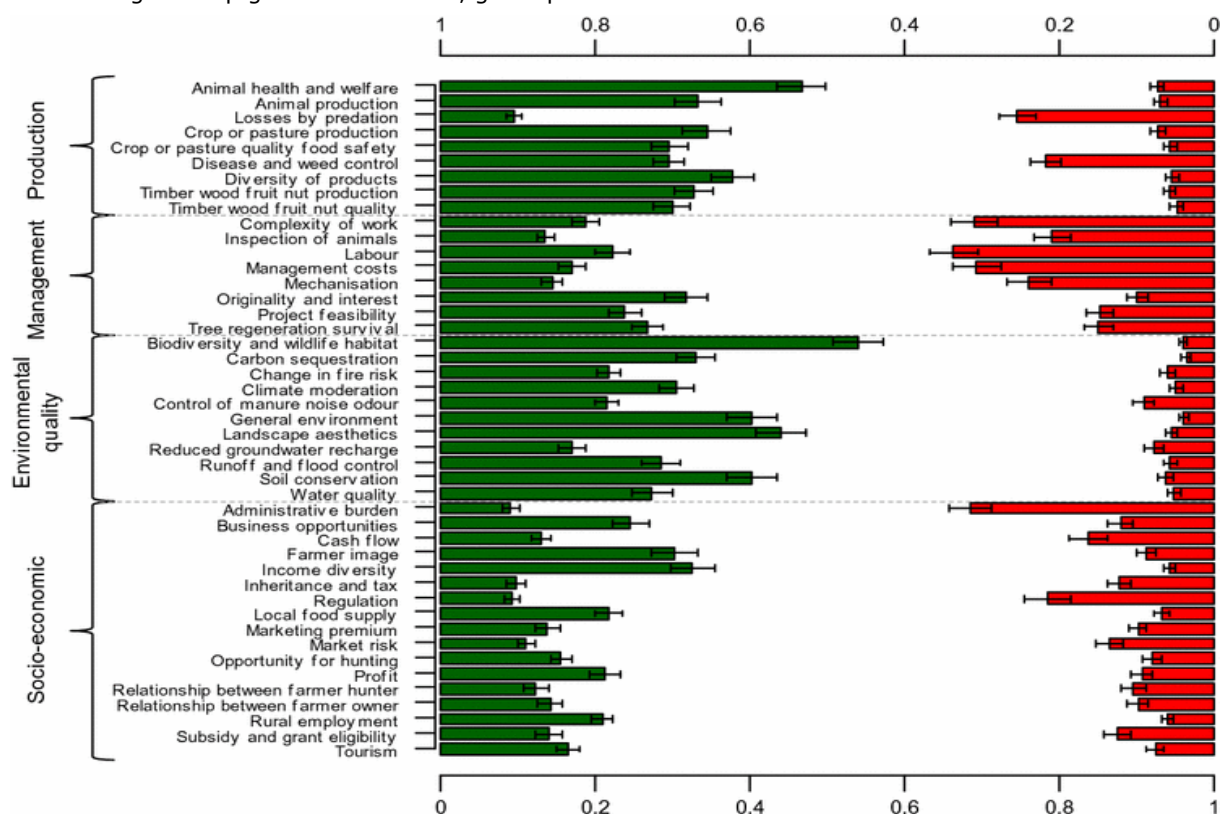
Enkele Europese studies onderzochten de mate van interesse in en perceptie van boeren ten opzichte van moderne agroforestry, in o.a. Nederland, Engeland, Duitsland, België en Zwitserland (Graves et al., 2009; Sereke et al., 2015; Borremans et al., 2016; Graves et al., 2017; García de Jalón et al., 2018). Recente cijfers ontbreken. Het EU-project SAFE (*Silvoarable Agroforestry For Europe*) rapporteert de resultaten van een extensieve survey, waarin 264 boeren in 7 landen (2004) zijn geïnterviewd aan de hand van 122 vragen over de mogelijkheden en barrières van implementatie van agrisylvicultuur systemen (Liagre et al., 2005; Graves et al., 2009). In dit project zijn 29 Nederlandse boeren geïnterviewd in de regio's Noord-Friesland en de Achterhoek. Van de 29 Nederlandse boeren gaf destijds zo'n 80% aan nog nooit te hebben gehoord van agroforestry. De overige 20% had over het algemeen een negatieve perceptie van het woord agroforestry en interpreteerde het als bosaanplant op landbouwgrond. De Nederlandse boeren gaven aan: *'bomen zijn mooi, zolang ze niet op ons land staan'*. De negatieve aspecten die boeren voorzagen liepen uiteen van afnemende opbrengsten, gebrek aan passende mechanisatie, complexiteit en toename van de werkzaamheden, marktrisico's, status en

gebrek aan subsidies. Het grootste bezwaar van alle Europese boeren was de afname in productiviteit. Het grootste bezwaar van de Nederlandse boeren was het gebrek aan passende mechanisatie en moeilijkheden gedurende de oogstperiode (Graves et al., 2009). Sereke et al. (2015) interviewde 50 boeren in Zwitserland om te onderzoeken wat de huidige meningen en verwachtingen zijn onder Zwitserse boeren rondom het thema agroforestry. De helft van de boeren sprak de intentie uit agroforestry systemen te willen toepassen op het eigen bedrijf. Een belangrijk obstakel bij de (wens tot) aanleg van een agroforestry systeem was het gebrek aan opvolging. De ondervraagde boeren toonden interesse in silvopastorale systemen, in mindere mate voor agrisylvicultuur percelen. De verwachtingen waren het hoogst van fruitproductie, niet zozeer van hout en biomassa productie. Het overgrote deel van de boeren was overtuigd dat agroforestry systemen niet productief waren in vergelijking met monocultuur systemen. Het in standhouden en vergroten van biodiversiteit werd als zeer motiverend benoemd en dierenwelzijn in de vorm van het verschaffen van schaduw aan de koeien werd als groot voordeel beschouwd. Het risico op reputatie- en status afbreuk bleek de belangrijkste niet-economische reden voor non-adoptie (Sereke et al., 2015).

Borremans et al. (2016) interviewde 86 Vlaamse boeren (2011, random sample). 55% van deze boeren was niet bekend met agroforestry als systeem. De 45% die bekend was met het systeem gaf aan het meest over agroforestry te hebben geleerd aan de hand van landbouwtijdschriften (63%). Vergelijkbaar met de boeren in Zwitserland, blijken de Belgische boeren ook een sterke voorkeur te geven aan silvopastorale systemen in vergelijking met agrisylvicultuur percelen, waarin ze over het algemeen geen potentie zagen. De ondervraagden voorzagen schaduw als voornaamste probleem, welke zou zorgen voor opbrengstderving en kwaliteitsafbreuk van het eenjarige gewas. Ook het tekort aan landbouwgrond, resulterende in hoge grondprijzen en druk om productieniveaus op te schroeven waren benoemd als barrières voor de opname van agroforestry praktijken. De geïnterviewden gaven aan dat ze erosiecontrole, behoud van natuur en biodiversiteit en een (verwachte) verhoogde landschapskwaliteit als grote voordelen beschouwen van agroforestry.

Graves et al. (2017) identificeerde de ideeën van boeren in Bedfordshire, Engeland over de voor- en nadelen van agrisylvicultuur (silvoarable) systemen. De meeste boeren gaven aan dat ze verwachten dat het systeem niet rendabel is. Ze gaven aan vooral voordelen te zien in het ecologische en sociale domein, en niet zozeer in het economische domein. De grootste barrières voor adoptie vormen het aangepaste management en het gebruik van machines, aldus de ondervraagde boeren.

García de Jalón (2018) beschrijft resultaten van 344 deelnemers (boeren, adviseurs en onderzoekers) in 30 stakeholder bijeenkomsten in 11 EU landen. De deelnemers aan de bijeenkomsten werd gevraagd naar de verwachte voor- en nadelen van agroforestry systemen. Deelnemers voorzagen vooral voordelen ten opzichte van ecologische en productie gerelateerde thema's als biodiversiteit, dierenwelzijn en landschapskwaliteit (zie figuur 6). Nadelen werden vooral voorzien ten opzichte van management en sociaaleconomische thema's als een toename in arbeid, administratiedruk, complexiteit van de verwachte werkzaamheden en managementkosten. Specifiek voor agrisylvicultuur-systemen werden vooral voordelen gezien op gebied van bodem, gewasproductiviteit en diversiteit in inkomen.



Figuur 6 Gemiddelde genormaliseerde scores van 344 deelnemers van de 30 stakeholder groepen over verwachte positieve (groen) en negatieve (rood) aspecten gerelateerd aan agroforestry systemen. Error bars geven de 95% betrouwbaarheidsinterval

Ook in Nederland werden bijeenkomsten georganiseerd (AGFORWARD-project), waar de stakeholdergroep bestond uit vier boeren die het potentieel van voederbomen voor koeien en geiten onderzochten. Deze boeren benoemden dierengezondheid en –welzijn, landschapskwaliteit en biodiversiteit als positieve aspecten en benoemden ziekte- en onkruiddruk en arbeidsuren als negatief. De studie identificeert de vier kernaspecten die mensen motiveren om met agroforestry aan de slag te gaan: biodiversiteit, bodem, dierenwelzijn en diversificatie van inkomen. De vier barrières die zijn geïdentificeerd zijn: toename in arbeid, complexiteit van de werkzaamheden, kosten van management en administratieve druk. Het behoud en eventueel verbeteren van natuurwaarden en biodiversiteit werd in alle vijf studies benoemd als één van de grootste voordelen van agroforestry. Het overgrote gedeelte van zowel de Vlaamse als de Zwitserse boeren en de Noordwest Europese boeren in Graves et al. (2009) en de Engelse boeren in Graves et al. (2017) geloven niet dat agroforestry economisch voordelig kan zijn. Borremans et al. (2016) bepleit de noodzakelijkheid van zowel technisch als sociaaleconomisch fundamenteel- en praktijkonderzoek in Noordwest-Europa, welke de gewenste onderbouwing kan leveren en het potentieel van agroforestry systemen in gematigde klimaatzones kan tonen. Toekomstig onderzoek moet zich, volgens Borremans et al. (2016), richten op het verhelpen van de negatieve percepties van Europese boeren gerelateerd aan productiviteit en rendement van agroforestry. Hierbij kan men denken aan marktstudies naar het potentieel van agroforestry producten en communicatiestrategieën en campagnes die de nu nog overheersende negatieve associaties van bomen op het land kunnen verhelpen.

3.2 Technische & agronomische lock-ins

3.2.1 Mechanisatie

Het grootste gedeelte van Europese boeren betrokken bij onderzoeken naar de verwachte negatieve en positieve aspecten van agroforestry zijn bezorgd over uitdagingen rondom mechanisatie in agroforestry systemen (Graves et al., 2009; Borremans et al., 2016; Graves et al., 2017; Garcia de Jalón et al., 2018; Tranchina et al., 2024). Onder boeren in Noord-Europa (Frankrijk, Duitsland, VK en Nederland) werd mechanisatie zelfs als één van de twee grootste barrières voor de implementatie van silvoarable agroforestry bestempeld, samen met een toename in complexiteit van het werk (Graves et al., 2009). Uitgaande van een situatie waarbij een boer op bestaande akkers of weiden houtige gewassen aanplant om zo een agroforestry systeem te creëren, vormt mechanisatie een aandachtspunt vanuit twee dimensies:

1. Evt. aanpassingen aan bestaande mechanisatie voor de veeteelt/eenjarige gewasteelt;
2. Evt. aanschaf of inhuur van nieuwe mechanisatie voor de houtige gewasteelt.

De uitdagingen met betrekking tot mechanisatie waar in de diverse Europese studies over gesproken wordt, hebben voornamelijk betrekking op de eerste dimensie (Graves et al., 2009; Borremans et al., 2016; Graves et al., 2017; Garcia de Jalón et al., 2018). Voor silvoarable agroforestry systemen uitten boeren onder andere zorgen over verlagingen van de werksnelheid om botsingen met bomen te voorkomen, mogelijke noodzakelijke aanpassingen aan irrigatie, problemen met drainagesystemen en eventuele hinder van de bomen bij het werken met veldspuit of combine (Graves et al., 2009; Graves et al., 2017). Ten slotte zijn er logistieke uitdagingen te verwachten wanneer de oogsttijdstippen van de eenjarige en houtige gewassen gelijktijdig zijn (Wilson & Lovell, 2016). Voor het oplossen van dergelijke uitdagingen zouden praktijkervaringen van agroforestry pioniers kunnen helpen. Zo hebben enkele Nederlandse akkerbouwers die in de afgelopen jaren bezig zijn geweest met de implementatie van agroforestry op hun bedrijf, bij het ontwerpen van het agroforestry systeem rekening gehouden met werktuig- en veldspuitbreedte om zulke problemen te voorkomen (Schoutsen et al., 2022). Ook in het buitenland zijn hiervan voorbeelden bekend (zie Figuur 7).

Mechanisatie t.b.v. het houtige gewas behelst onder andere machines voor beheer (maaien, snoeien, onkruidbeheersing) en oogst (plukken, schudden, rapen, kappen). Er is veel mogelijk met de bestaande mechanisatie uit bosbouw, fruit- en notenteeltsectoren, maar er zijn ook potentiële knelpunten. Zo zijn bestaande machines ontwikkeld voor het gebruik in monocultuur-boomgaarden en bijvoorbeeld ontworpen om over meerdere boomrijen tegelijkertijd te werken, wat niet in alle agroforestry systemen mogelijk is. Dergelijke machines zijn waarschijnlijk ook minder geschikt voor complexe agroforestry systemen waarin verschillende fruit- of notensoorten gecombineerd worden. Ten slotte geldt dat het areaal van het houtige gewas voldoende groot moet zijn om de investering in specialistische machines rendabel te maken (Selin-Norén & Dawson, 2020).



Figuur 7 (L) Grondbewerking in gras-hazelnoot agroforestry systeem (Bron: Wakelyns, n.d.)

Figuur 7 (R) Graandorsen in 40 jaar-oud graan-walnoot systeem in Frankrijk (Bron: AGFORWARD, n.d.)

3.2.2 Arbeid

Agrariërs verwachten een toename in de hoeveelheid arbeid bij toepassing van agroforestry praktijken, vanwege zowel complexer agronomisch management (o.a. aanplant, boombescherming aanbrengen, irrigatie, snoei, onkruidbeheersing, oogst) als een toename in administratief werk (Graves et al. 2009; Garcia de Jalón et al., 2018; Tranchina et al., 2024). Arbeid is een zeer kritische factor voor succesvolle agroforestry adoptie, gezien de hoge arbeidskosten in Noordwest-Europa. Met een eventuele stijging van het aantal arbeidsuren per product zullen inherent de kosten van het product stijgen, resulterend in een relatief duur eindproduct dat moet concurreren met vergelijkbare producten die voor een lagere consumentenprijs worden aangeboden.

Er is weinig bekend over de potentiële stijging in arbeidsuren in moderne agroforestry systemen in de Europese context. Prins (2017) heeft een schatting gemaakt van verwachte arbeidsuren in een gras-wilg en triticale-walnoot systeem. De arbeidsuren (aanleg, onderhoud en oogst) voor het gras-wilg systeem zijn geschat op 13 uur/ha/jaar (gemiddeld over 25 jaar, 6 uur/ha/jaar voor de wilg, 7 uur/ha/jaar gras). Het triticale-walnoot systeem wordt ingeschat op 25 uur/ha/jaar, 10 uur/ha/jaar voor de triticale en 15 uur/ha/jaar voor de walnoot – gemiddelde over 50 jaar (data gebaseerd op Oosterbaan et al., 2005; Boosten & Jansen, 2013). De arbeidsbehoefte van het eenjarige gewas (in dit geval gras en triticale) daalt met zo'n 30 à 24%, respectievelijk door het afgenomen productie oppervlak (Prins, 2017). De arbeidsuren voor het houtig gewas zorgen voor een netto stijging van het aantal arbeidsuren per ha per jaar. De eerste jaren na aanplant zal naar alle verwachting het productievolume van het eenjarige gewas iets dalen (zowel door verlies van productie oppervlak en negatieve competitie voor licht, water en nutriënten door het houtige gewas (van Vooren et al. 2016), terwijl het houtige gewas nog niet volgroeid is en dus niet in staat om deze verliezen in een vroeg stadium te compenseren.

Naast een toename in de hoeveelheid arbeid verwachten agrariërs ook een toename in de complexiteit van de arbeid en een verandering in de aard van de arbeid. Dit is een realistische verwachting.

Agroforestry onderscheidt zich van andere landbouwpraktijken door haar intrinsieke agronomische en ecologische complexe aard, de zeer uiteenlopende vormen en de noodzaak voor een lange termijn toewijding (Louah et al. 2017).

3.2.3 Schaduwtolerantie éénjarige gewassen

Verschillende bronnen concluderen dat het succes van het agroforestry systeem in gematigde klimaatzones afhankelijk is van de selectie van schaduw-tolerante soorten éénjarige gewassen (Dufour et al. 2013) en de mate van en de periode van schaduwvorming van het houtige gewas. Licht en de kwaliteit hiervan is namelijk naar verwachting de meest limiterende factor voor het potentieel productieniveau van agroforestry akkerbouw-systemen in gematigde klimaatzones (Ehret et al. 2015). Veredelaars hebben tot op heden vooral éénjarig-gewascultivars geselecteerd voor het groeien in volledig zonlicht (Vandeleur & Gill, 2004).

Abbate et al. (1997) experimenteerde met schaduw tolerante cultivars en ook Wang et al. (2003) concludeert verschillen in de effecten van schaduw in opbrengstniveaus van tarwe cultivars. Dufour et al. (2013) stelt voor om efficiëntie van zonnestraling (*radiation use efficiency*, ofwel RUE) te gebruiken als voornaamste selectiecriteria in toekomstige veredelingsprogramma's voor agroforestry.

Referenties

Abbate, P., Andrade, F., Culot, J., & Bindraban, P. (1997, 09). Grain yield in wheat: Effects of radiation during spike growth period. *Field Crops Research*, 54(2-3), 245-257.

AGFORWARD (n.d.). AGroFOREstry that Will Advance Rural Development. Geraadpleegd op 12 april 2023 van <https://www.agforward.eu/>

Agroforestry Netwerk Nederland (2023). Waarom Agroforestry? Geraadpleegd 11 april 2023 van <https://www.agroforestrynetwerk.nl/agroforestry>

Agroforestry voor klimaatpositieve zuivel en biodiversiteit - WUR. (n.d.). Retrieved October 23, 2024, from <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/kennisonline-onderzoeksprojecten-lvvn/kennisonline/agroforestry-voor-klimaatpositieve-zuivel-en-biodiversiteit-3.htm>

Allen, S. C., Jose, S., Nair, P., Brecke, B. J., Nkedi-Kizza, P., & Ramsey, C. L. (2004). Safety-net role of tree roots: Evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)–cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management*, 192(2-3), 395-407. doi:10.1016/j.foreco.2004.02.009.

Artru S, Garré S, Dupraz C, Hiel M, Blitz-Frayret C, Lassois L (2017) Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. *Eur J Agron* 82:60–70 <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.004>

Asseldonk, T. v. 2012. Medicinale en etnobotanische aspecten van (potentiële) voederbomen voor melkvee: een adviesrapport. IEZ. Beek-Ubbergen

Barbieri, C. & Valdivia, C. (2010). Recreation and agroforestry: Examining new dimensions of multifunctionality in family farms. *Journal of Rural Studies*, 26(4), 465-473. doi:10.1016/j.jrurstud.2010.07.001

Bealey, W. J., Loubet, B., Braban, C. F., Famulari, D., Theobald, M. R., Reis, S., ... & Sutton, M. A. (2014). Modelling agro-forestry scenarios for ammonia abatement in the landscape. *Environmental Research Letters*, 9(12), 125001.

Bealey, W. J., Dore, A. J., Dragosits, U., Reis, S., Reay, D. S., & Sutton, M. A. (2016). The potential for tree planting strategies to reduce local and regional ecosystem impacts of agricultural ammonia emissions. *Journal of Environmental Management*, 165, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.012>

Bedoussac, L., Journet, E., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Prieur, L., Justes, E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 911-935. doi:10.1007/s13593-014-0277-7

Bedoussac, L., & Justes, E. (2010). The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil*, 330(1-2), 19-35. doi:10.1007/s11104-009-0082-2

Bedoussac, L., Journet, É, Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Prieur, L., . . . Justes, E. (2015). Eco-functional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improved Grain Protein Concentration. *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures*, 47-63. doi:10.1007/978-94-007-7927-3_3

Bestman, M. (2015). Bomen voor Buitenkippen. Louis Bolk Instituut, Driebergen. <http://www.louisbolk.org/downloads/3048.pdf>

Beule, L., Lehtsaar, E., Rathgeb, A., & Karlovsky, P. (2019). Crop diseases and mycotoxin accumulation in temperate agroforestry systems. *Sustainability (Switzerland)*, 11, 1–21. <https://doi.org/10.3390/su11102925>

Bergeron, M., Lacombe, S., Bradley, R. L., Whalen, J., Cogliastro, A., Jutras, M., & Arp, P. (2011). Reduced soil nutrient leaching following the establishment of tree-based intercropping systems in eastern Canada. *Agroforestry Systems*, 83(3), 321-330. doi:10.1007/s10457-011-9402-7

Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H., & Tscharrntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1595), 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>

-
- Boinot, S., Fried, G., Storkey, J., Metcalfe, H., Barkaoui, K., Lauri, P. É., & Mézière, D. (2019). Alley cropping agroforestry systems: Reservoirs for weeds or refugia for plant diversity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 284(July). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106584>
- Booij, A. 2006. Het venijn van een klein beestje VeeteeltVlees. <https://edepot.wur.nl/119658>.
- Boosten, M. & Jansen, P. (2013) Kosten en baten van wilgenenergieplantages. Stichting Probos, Wageningen. <http://www.probos.nl/images/pdf/bosberichten/bosberichten2013-01.pdf>.
- Boosten, M. & Penninkhof, J. (2016). Kiplekker onder de wilgen. Stichting Probos, Wageningen. https://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/Rap2016_Eindrapport_kiplekkeronderdewilgen.pdf.
- Boosten, M. & Snoep, M. (2021). Methode voor vastlegging van emmisiereductie CO₂-eq. Projecttype: Aanleg van nieuw bos en aanleg van boomweides en lijnvormige beplantingen buiten bosverband. Stichting Nationale Koolstofmarkt. <https://nationaleco2markt.nl/wp-content/uploads/2021/06/210603-Methode-Aanleg-bos-en-beplanting-buiten-bosverband.pdf>.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J.P.T. & Rothstein, R.H. (2009). *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Borremans, L., Reubens, B., Van Gils, B., Baeyens, D., Vandeveld, C. & Wauters, E. (2016). A sociopsychological analysis of agroforestry adoption in Flanders: understanding the discrepancy between conceptual opportunities and actual implementation. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 40(9): 1008-1036.
- Boxtel, M. van, Selin-Norén, I., Cuperus, F. (2025). Factsheet Agroforestry 1. Bomen planten op landbouwgrond, wat mag ik? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/454070>
- Brusselman E., Beck B., De Campeneere S., Demeyer P., ... & Zwervaegher I. (2016). Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig uit de landbouw. ILVO. https://ilvo.vlaanderen.be/uploads/documents/ILVO_PAS_Literatuurstudie_finaal.pdf
- Bullock, C., Macmillan, D., & Crabtree, J. (1994). New perspectives on agroforestry in lowland Britain. *Land Use Policy*, 11(3), 222-233. doi:10.1016/0264-8377(94)90024-8
- Cadisch, G., Rowe, E., & van Noordwijk, M. (1997). Nutrient harvesting - the tree-root safety net. *Agroforestry Forum*, 8(2), 31-33. https://www.worldagroforestry.org/sites/default/files/Cadishetal1997_NutrientHarvesting.pdf
- Camilli, F., Pisanelli, A., Seddaiu, G., Franca, A., Bondesan, V., Rosati, A., Moreno, G.M., Pantera, A., Hermansen, J.E., Burgess, P.J. (2016) Benefits and constraints associated to agroforestry systems: the case studies implemented in Italy within the Agforward project. Book of abstracts of the 3rd EURAF Conference, Montpellier SupAgro, France, p. 19-22.
- Campos, P., Oviedo, J. L., Caparrós, A., Huntsinger, L., & Coelho, I. (2009). Contingent Valuation of Woodland-Owner Private Amenities in Spain, Portugal, and California. *Rangeland Ecology & Management*, 62(3), 240-252. doi:10.2111/08-178r2.1
- Cannell, M. G., Noordwijk, M. V., & Ong, C. K. (1996). The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, 34(1), 27-31. doi:10.1007/bf00129630
- Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B.G., Saby, N.P.A., Parent, T., Dupraz, C., Bernoux, M., Chenu, C. (2015). Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon — a case study in a Mediterranean context *Geoderma*, 259-260, pp. 288-299
- Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L., & Bernoux, M. (2018). Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems. *Environmental Research Letters*, 13(12), 124020.
- Carson, A. G. (1989). Effect of intercropping sorghum and ground-nut on density of *Striga hermonthica* in the Gambia. *Tropical Pest Management*, 35, 130-132. doi:10.1080/09670878909371340
- Carvalho, R., Goedert, W. J., & Armando, M. S. (2004). Physical features of soil quality under an agroforestry system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 1153-1155.

Cavigelli, M., Maul, J. & Szilávecz, K. (2012). Managing Soil Biodiversity and Ecosystem Services. 10.1093/acprof:oso/9780199575923.003.0030.

Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M. E., Blitzer, E. J., & Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14(9), 922-932. doi:10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x

Chirko C.P., Gold M.A., Nguyen P.V., and Jiang J.P. (1996) Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (QP) in a Paulownia wheat intercropping system. *For. Ecol. Manage.* 83:171–180.

Cirou E, Hannachi Y (2014). Initial Stakeholder Meeting Report: Agroforestry for arable farmers in Western France. 14 November 2014. p 9. Available online: <http://agforward.eu/index.php/fr/systemes-agroforestiers-ouest-de-la-france.html>

Corbey, D. & van Asselt B. (2020). Routekaart Nationale Biogrondstoffen; Naar een groter aanbod en betere benutting. Stuurgroep Biogrondstoffen. Juni 2020 www.klimaataakkoord.nl.

Crittenden, S.J., Poot, N., Heinen, M., Van Balen, D.J.M. & Pulleman, M. M. (2015). Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil and Tillage Research* 154, 136-144

De Stigter, J., & Prins, E. (2023). De effecten van agroforestry op biodiversiteit in Nederland. Louis Bolk Instituut, Bunnik. https://louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/de-effecten-van-agroforestry-op-biodiversiteit-nederland_0.pdf

Doran, J.W. (1980). Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 765–771

Dufour, L., Metay, A., Talbot, G., & Dupraz, C. (2013). Assessing Light Competition for Cereal Production in Temperate Agroforestry Systems using Experimentation and Crop Modelling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(3), 217-227. doi:10.1111/jac.12008

Dupraz, C. & Newman, S.M. (1997) Temperate agroforestry: the European way. In: Gordon A.M. and Newman S.M. (eds), *Temperate Agroforestry Systems*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 181–236.

Dupraz, C. (2004). A growing concern. *RDT-Info*, 43, 36–39. <https://doi.org/10.1038/nrc3689>

Dupraz, C. & Liagre, F. (2008) *Agroforesterie Des arbres et des cultures*. Editions France-Agricola. Found in: Santiago-Freijanes, J.J., Mosquera-Losada, M.R., Rois-Díaz, M., Ferreiro-Dominguez, N., Pantera, A., Aldrey, J.A., Rigueiro-Rodríguez, A. (2021). Global and European policies to foster agricultural sustainability: agroforestry. *Agroforest Syst* (2021) 95:775–790. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0215-9>

Ehret, M., Graß, R., & Wachendorf, M. (2015). The effect of shade and shade material on white clover/perennial ryegrass mixtures for temperate agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 89(3), 557-570. doi:10.1007/s10457-015-9791-0

EPRS (2020). European Parliamentary Research Service. Author: Marie-Laure Augère-Granier. Members' Research Service. PE 651.982 – June 2020

Estell, R. E., K. M. Havstad, A. F. Cibils, E. L. Fredrickson, D. M. Anderson, T. S. Schrader, and D. K. James. 2012. Increasing Shrub Use by Livestock in a World with Less Grass. *Rangeland Ecology & Management*.

Everts (1991). Houtteelt in combinatie met gangbare landbouwgewassen. In *Praktijkonderzoek/ Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden* (PR), Waiboerhoeve 4 (1991) 5 1991

Everts (1994). Populierenteelt in combinatie met gras mogelijk. In *Praktijkonderzoek/ Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden* (PR), Waiboerhoeve 7 (1994) 2 1994

EURAF (2016). Found in: Mosquera-Losada R, Santiago-Freijanes JJ, Pisanelli A, Rois M, Smith J, den Herder M, Moreno G, Malignier N, Mirazo JR, Lamersdorf N, Ferreiro Dominguez N, Balaguer F, Pantera A, Rigueiro-Rodríguez A, Gonzalez-Hernandez P, Fernandez-Lorenzo JL, Romero-Franco R, Chalmin A, Garcia de Jalon S, Garnett K, Graves A, Burgess PJ (2016). Extent and Success of Current Policy Measures to Promote Agroforestry across Europe. Report, p. 9

-
- Fagerholm, N., Oteros-Rozas, E., Raymond, C. M., Torralba, M., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016a). Assessing linkages between ecosystem services, land-use and well-being in an agroforestry landscape using public participation GIS. *Applied Geography*, 74, 30-46. doi: 10.1016/j.apgeog.2016.06.007
- Fagerholm, N., Torralba, M., Burgess, P. J., & Plieninger, T. (2016b). A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecological Indicators*, 62, 47-65. doi: 10.1016/j.ecolind.2015.11.016
- FAO (2022). Definition of agroforestry. Geraadpleegd op 20 december 2022 van <https://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/>
- Franco, D., Mannino, I. & Zanetto, G. (2003). The impact of agroforestry networks on scenic beauty estimation. *Landscape and Urban Planning*, 62(3), 119-138. doi:10.1016/s0169-2046(02)00127-5
- Fry, D., & Slater, F. (2011). Early rotation short rotation willow coppice as a winter food resource for birds. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2545-2553. doi:10.1016/j.biombioe.2011.02.016
- Fuchs, L., & van Leeuwen, S. (2022). Effecten van agroforestry op de waterhuishouding en functionele agrobiodiversiteit. Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/580955>
- Fuchs, L. & Selin Norén (2023). Factsheet Agroforestry 3. Wat zijn de mogelijkheden voor koolstofvastlegging door agroforestry? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/501459>
- Fuchs, L. (2023a). Factsheet Agroforestry 11: Hoe kan agroforestry bijdragen aan een oplossing van de stikstofproblematiek? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/638797>
- Fuchs, L. (2023b). Factsheet Agroforestry 12: Hoe past agroforestry in een open landschap? Enkele ontwerpen voor akkerbouw in Zeeland. Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/638796>
- Gao, J., Barbieri, C., & Valdivia, C. (2014). A socio-demographic examination of the perceived benefits of agroforestry. *Agroforestry Systems*, 88(2), 301-309. doi:10.1007/s10457-014-9683-8
- García de Jalón, S., Burgess, P. J., Graves, A., Moreno, G., Mcadam, J., Pottier, E., . . . Vityi, A. (2018). How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agroforestry Systems*. doi:10.1007/s10457-017-0116-3
- Geris, J., Tetzlaff, D., McDonnell, J., & Soulsby, C. (2014). The relative role of soil type and tree cover on water storage and transmission in northern headwater catchments. *Hydrological Processes*, 29(7), 1844-1860. doi:10.1002/hyp.10289
- Giannitsopoulos, M. L., Graves, A. R., Burgess, P. J., Crous-Duran, J., Moreno, G., Herzog, F., Palma, J. H. N., Kay, S., & García de Jalón, S. (2020). Whole system valuation of arable, agroforestry and tree-only systems at three case study sites in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122283>
- Gómez, J. A., Sobrinho, T. A., Giráldez, J. V., & Fereres, E. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 102(1), 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.005>
- Gonzalez Quintero, R., García, E. H., Florez, F., Burkart, S., & Arango, J. (2024). A case study on enhancing dairy cattle sustainability: The impact of silvopastoral systems and improved pastures on milk carbon footprint and farm economics in Cauca department, Colombia. *Agroforestry Systems*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/S10457-024-01070-Y/TABLES/5>
- Gordon, I. J., H. H. Prins, J. Mallon, L. D. Puk, E. B. Miranda, C. Starling-Manne, R. van der Wal, B. Moore, W. Foley, and L. Lush. 2019. The ecology of browsing and grazing in other vertebrate taxa, The ecology of browsing and grazing II. Springer. p. 339-404.
- Graves, A., Burgess, P., Palma, J., Herzog, F., Moreno, G., Bertomeu, M., Dupraz, C., Liagre, F., Keesman, K., van der Werf, W., Koeffeman de Nooy, A., van de Briel, J. P. (2007). Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological Engineering*, 29(4), 434-449. doi:10.1016/j.ecoleng.2006.09.018
- Graves, A.R., Burgess, P.J., Liagre F., Pisanelli, A., Paris, P., Moreno, G., Bellido, M., Mayus, M., Postma,

-
- M., Schindler, B., Mantazanas, K., Papanastasis, V.P., Dupraz, C. (2009). Farmer Perceptions of Silvoarable Systems in Seven European Countries. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M.R. (eds.) *Agroforestry in Europe*, vol 5. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. p 67-86. doi:10.1007/978-1-4020-8272-6_4
- Graves, A., Burgess, P., Liagre, F., & Dupraz, C. (2017). Farmer perception of benefits, constraints and opportunities for silvoarable systems: Preliminary insights from Bedfordshire, England. *Outlook on Agriculture*, 46(1), 74-83. <https://doi.org/10.1177/0030727017691173>
- Green Deal Voedselbossen (n.d.). De praktijk van voedselbossen. Geraadpleegd 11 april 2023 van <https://greendealvoedselbossen.nl/voedselbossen/>
- Groot, M. 2022. Mogelijke effecten van diverse planten (en bomen) op diergezondheid, Wageningen Food Safety Research.
- Harvey, C. A., Gonzalez, J., & Somarriba, E. (2006). Dung Beetle and Terrestrial Mammal Diversity in Forests, Indigenous Agroforestry Systems and Plantain Monocultures in Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*, 15(2), 555-585. doi:10.1007/s10531-005-2088-2
- Hasund, K. P., Kataria, M., & Lagerkvist, C. J. (2011). Valuing public goods of the agricultural landscape: A choice experiment using reference points to capture observable heterogeneity. *Journal of Environmental Planning and Management*, 54, 31-53. <http://dx.doi.org/10.1080/09640568.2010.502753>
- Hauggaard-Nielsen, H., Jørnsgaard, B., Kinane, J., & Jensen, E. S. (2008). Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23, 3-12. <http://dx.doi.org/10.1017/S1742170507002025>
- Hedges, L., Gurevitch, J. & Curtis, P. (1999). The Meta-Analysis of Response Ratios in Experimental Ecology. *Ecology*. 80. 1150-1156. 10.2307/177062.
- Herzog, F. (1998). Streuobst: A traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperate Europe. *Agroforestry Systems*, 42, 61-80. <https://doi.org/10.1023/A:1006152127824>
- Hill, D. B. & Webster, T. C. (1995). Apiculture and forestry (bees and trees). *Agroforestry Systems*, 29(3), 313-320. doi:10.1007/bf00704877
- Ickowitz, A., McMullin, S., Rosenstock, T., Dawson, I., Rowland, D., Powell, B., Mausch, K., Djoudi, H., Sunderland, T., Nurhasan, M., Novak, A., Gitz, V., Meybeck, A., Jamnadass, R., Guariguata, M.R., Termote, C. & Nasi, R. (2022). Transforming food systems with trees and forests. *The Lancet Planetary Health*, 6(7), e632-e639. doi:10.1016/s2542-5196(22)00091-2
- Iverson, A. L., Marin, L. E., Ennis, K. K., Gonthier, D. J., Connor-Barrie, B. T., Remfert, J. L., et al. (2014). Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51, 1593-1602.
- Ivezić, V., Yu, Y., & Werf, W. v. d. (2021). Crop Yields in European Agroforestry Systems: A Meta-Analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. doi:10.3389/fsufs.2021.606631
- 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.
- Jensen, E. S. (1996). Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 182, 25-38. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00010992>
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Advances in Agroforestry*, 1-10. doi:10.1007/978-90-481-3323-9_1
- Jose, S. (2012). Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems*, 85(1), 1-8. doi:10.1007/s10457-012-9517-5
- Junge, X., Schüpbach, B., Walter, T., Schmid, B., & Lindemann-Matthies, P. (2015). Aesthetic quality of agricultural landscape elements in different seasonal stages in Switzerland. *Landscape and Urban Planning*, 133, 67-77. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.09.010
- 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.

Kay, S., Crous-Duran, J., García de Jalón, S., Graves, A., Palma, J. H. N., Roces-Díaz, J. V., . . . Herzog, F. (2018). Landscape-scale modelling of agroforestry ecosystem services in Swiss orchards: a methodological approach. *Landscape Ecology*, 33(9), 1633-1644. doi:10.1007/s10980-018-0691-3

Kay, S., Graves, A., Palma, J. H. N., Moreno, G., Roces-Díaz, J. V., Aviron, S., ... Herzog, F. (2019a). Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services*, 36(January).
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100896>

Klaa K, Mill PJ, Incoll LD (2005) Distribution of small mammals in a silvoarable agroforestry system in Northern England. *Agrofor Syst* 63:101–110. doi:10.1007/s10457-004-1110-0

Kohari, D., T. Kosako, M. Fukasawa, and H. Tsukada. 2007. Effect of environmental enrichment by providing trees as rubbing objects in grassland: Grazing cattle need tree-grooming. *Animal Science Journal* 78(4):413-416. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2007.00455.x>

Kros, J., Gies, T. J. A., Voogd, J. C. H., de Vries, W., Aben, J., & Pul, A. (2015). Effecten van landschapselementen op de ammoniakdepositie in Natura 2000-gebieden (No. 2689). Alterra, Wageningen-UR.

Kuntz, M. Berner, A., Gatteringer, A., Scholberg, J.M., Mäder, P., Pfiffner, L. Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. *Pedobiologia*, 56 (2013), pp. 251-260

Laroche, G., Domon, G., Nancy, G., Doyon, M., and Olivier, A. 2019. "Integrating Agroforestry Intercropping Systems in Contrasted Agricultural Landscapes: A Swot-Ahp Analysis of Stakeholders' Perceptions." *Agroforestry Systems: An International Journal Incorporating Agroforestry Forum* 93(3):947–59.

Lawson, G., Balaguer, F., Palma, J., Papanastis, V. (2016) Options for Agroforestry in the CAP 2014-20, Are we learning any lessons? Oral presentation on 3rd European Agroforestry Conference, Montpellier.

Letourneau, D., Armbrrecht, I., Rivera, B. S., Lerma, J. M., Carmona, E. J., Daza, M. C., . . . Trujillo, A. R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 100416131934029. doi:10.1890/09-2026

Liagre, F., Pisanelli, A., Moreno, G., Bellido, M., Mayus, M., Postma, M., Schindler, B., Graves, A., Mantzanas, K., Dupraz, C. (2005) Survey of farmers' reaction to modern silvoarable systems. Sivoarable Agroforestry for Europe (SAFE) program.

Lidfors, L. M., D. Moran, J. Jung, P. Jensen, and H. Castren. 1994. Behaviour at calving and choice of calving place in cattle kept in different environments. *Applied Animal Behaviour Science* 42(1):11-28. doi: [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90003-5)

Lisonbee, L. D., J. J. Villalba, F. D. Provenza, and J. O. Hall. 2009. Tannins and self-medication: Implications for sustainable parasite control in herbivores. *Behavioural Processes* 82(2):184-189.

Louah, L., Visser, M., Blaimont, A., & Cannière, C. D. (2017). Barriers to the development of temperate agroforestry as an example of agroecological innovation: Mainly a matter of cognitive lock-in? *Land Use Policy*, 67, 86-97. doi:10.1016/j.landusepol.2017.05.001

Lundgren, B. (1982) Introduction. *Agroforestry Systems* 1(1): 3-6

Luske, B. Van Veluw, K. Vonk, M. (2016). Bottlenecks and solutions for introducing agroforestry: a case study for The Netherlands, orally presented at the 3rd European Agroforestry Conference 2016 Montpellier, Development of agroforestry in Europe (and beyond): farmers' perceptions, barriers and incentives.

Luske, B., Bestman, M., van Veluw, K., Prins, E., & Piet, R. (2020). Masterplan Agroforestry - Advies voor het realiseren van een schaa sprong van agroforestry in Nederland. Louis Bolk Instituut, Bunnik. <https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/masterplan-agroforestry.pdf>

Markwitz, C., Knohl, A., & Siebicke, L. (2020). Evapotranspiration over agroforestry sites in Germany. *Biogeosciences*, 17(20), 5183-5208.

-
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A., & Kögel-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107689.
- Mcneely, J. A., & Schroth, G. (2006). Agroforestry and Biodiversity Conservation – Traditional Practices, Present Dynamics, and Lessons for the Future. *Biodiversity and Conservation*, 15(2), 549-554. doi:10.1007/s10531-005-2087-3
- Merckx, T., Feber, R. E., Mclaughlan, C., Bourn, N. A., Parsons, M. S., Townsend, M. C., . . . Macdonald, D. W. (2010). Shelter benefits less mobile moth species: The field-scale effect of hedgerow trees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3-4), 147-151. doi:10.1016/j.agee.2010.04.010
- Mézière, D., Boinot, S., de Waal, L., Cadet, E., Fried, G., (2016) Arable weeds in alley cropping agroforestry systems – results of a first-year survey. Paper presented at the 3rd European agroforestry conference 2016, Montpellier, Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/308918591_Arable_weeds_in_alley_cropping_agroforestry_systems_-_Results_of_a_first_year_study
- Midaga, C. A., Pittchar, J., Salifu, D., Pickett, J. A., & Khan, Z. R. (2013). Effects of mulching, N-fertilization and intercropping with *Desmodium uncinatum* on *Striga hermonthica* infestation in maize. *Crop Protection*, 44, 44-49. doi:10.1016/j.cropro.2012.10.018
- Miller & pallardy Miller A.W. and Pallardy S.G. (2001) Resource competition across the crop-tree interface in a maize- silver maple temperate alleycropping stand in Missouri. *Agroforestry Systems*. 53: 247–259.
- Mupepele, A. C., Keller, M., & Dormann, C. F. (2021). European agroforestry has no unequivocal effect on biodiversity: a time-cumulative meta-analysis. *BMC Ecol Evol*, 21(1), 193. doi:10.1186/s12862-021-01911-9
- Naeem, M., Compton, S. G., Incoll, L. D., Wright, C., & Corry, D. T. (1997). Responses of aphids to a silvoarable agroforestry landscape. *Agroforestry Forum*, 8, 18–20.
- Nair, P.K.R., Kumar, B.M. & Nair, V.D. (2021). An Introduction to Agroforestry. Four Decades of Scientific Developments. Second Edition . ISBN 978-3-030-75357-3.
- Nair, P. K. R. (2007). The coming of age of agroforestry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(9), 1613-1619. doi:10.1002/jsfa.2897
- Nestel, D., & Altieri, M. A. (1992). The weed community of Mexican coffee agroecosystems: Effect of management upon plant biomass and species composition. *Acta Oecologica*, 13, 715–726.
- Newman, S.M., Bennett, K., Wu, Y., 1998. Performance of maize, beans and ginger as intercrops in Paulownia plantations in China. *Agroforestry Systems*. 39, 23–30.
- Norstadt, F.A. & McCalla, T.M. (1969). Microbial populations in stubble-mulched soil. *Soil Sci.*, 107, pp. 188-193
- Oberg S, Mayr S, Dauber J (2008) Landscape effects on recolonisation patterns of spiders in arable fields. *Agric Ecosyst Environ* 123:211–218. doi:10.1016/j.agee.2010.07.018
- Oosterbaan, A., Berg, van den, C. A., Valk, H. (2005) Zes jaar multifunctionele beplantingen in Winterswijk. Alterra-rapport 1236, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/27727>
- Oosterbaan, A., Tonneijck, A. E. G., & De Vries, E. A. (2006). Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak. Alterra-rapport 1419, Wageningen. <http://www2.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport1419.pdf>
- Oelbermann, M., Voroney, R. P., Thevathasan, N. V., Gordon, A. M., Kass, D. C., & Schlönvoigt, A. M. (2006). Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 68(1), 27-36. doi:10.1007/s10457-005-5963-7
- Ouin, A., Paillat, G., Butet, A., Burel, F., (2000) Spatial dynamics of wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) in an agricultural landscape under intensive use in the Mont Saint Michel Bay (France). *Agric. Ecosyst. Environ.* 78, 159–165. doi:10.1016/S0167-8809(99)00119-X
- Paiva, I. G., A. M. Auad, B. A. Veríssimo, and L. C. P. Silveira. 2020. Differences in the insect fauna associated to a monocultural pasture and a silvopasture in Southeastern Brazil. *Scientific Reports* 10(1):12112. doi: 10.1038/s41598-020-68973-5.

Palma, J., Graves, A., Burgess, P., Werf, W. V., & Herzog, F. (2007). Integrating environmental and economic performance to assess modern silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Economics*, 63(4), 759-767. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.01.011

Pantera, A., Burgess, P. J., Mosquera Losada, R., Moreno, G., López-Díaz M. L., Corroyer, N., McAdam, J., Rosati, A., Papadopoulos, A. M., Graves, A., Rigueiro Rodríguez A, Ferreiro-Domínguez N, Fernández Lorenzo J. L, González-Hernández M. P, Papanastasis, V. P., Mantzanas, K., Van Lerberghe, P., & Malignier, N. (2018). Agroforestry for high value tree systems in Europe. *Agroforestry Systems: An International Journal Incorporating Agroforestry Forum*, 92(4), 945-959. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0181-7>

Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., Frenne, P. D., Coussement, T., . . . Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 98-111. doi:10.1016/j.agee.2017.06.018

Plomp, M., Bruijn, B. de, Ferweda-van Zonneveld, R. (2025). Agroforestry voor diergezondheid, dierenwelzijn en natuurlijk gedrag in de Nederlandse melkveehouderij – analyse van bestaande kennis. Wageningen Livestock Research, Wageningen. (*in publicatie*)

PPS Verdienmodellen Agroforestry - WUR. (n.d.). Retrieved October 23, 2024, from www.wur.nl/verdienmodellen-agroforestry

Prins, E. (2017) Exploring the potential of agroforestry integration in arable and dairy farms in The Netherlands – an ex-ante assessment at field and farm level. MSc Thesis Wageningen University and Research. <http://edepot.wur.nl/416387>

Prins, E., Bestman, M., Roelen, S. van Veluw, K. & Rombouts, R. (2021). Advies Community of Practice Agroforestry: Opschaling landbouw met bomen door verbinden en kennis delen. Louis Bolk Instituut, Bunnik. <https://www.louisbolk.nl/publicaties/advies-community-practice-agroforestry>.

Prins, E., van Leeuwen, S., Vijn, M., Thijssen, E., & Kruit, J. (2023). Onderzoek naar Agroforestry in Nederland. Louis Bolk Instituut, Bunnik. <https://louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/onderzoek-naar-agroforestry-nederland.pdf>

Pumariño, L., Sileshi, G. W., Gripenberg, S., Kaartinen, R., Barrios, E., Muchane, M. N., . . . Jonsson, M. (2015). Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*, 16(7), 573-582. doi:10.1016/j.baae.2015.08.006

Rault, J., Bateson, M., Boissy, A., Forkman, B., Grinde, B., Gyax, L., Harfeld, J. L., Hintze, S., Keeling, L. J., Kostal, L., Lawrence, A. B., Mendl, M. T., Miele, M., Newberry, R. C., Sandøe, P., Špinka, M., Taylor, A. H., Webb, L. E., Whalin, L., & Jensen, M. B. (2025). A consensus on the definition of positive animal welfare. *Biology Letters*, 21(1). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2024.0382>

Reisner, Y., Filippi, R. D., Herzog, F., & Palma, J. (2007). Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering*, 29(4), 401-418. doi:10.1016/j.ecoleng.2006.09.020

Reichgelt, A., op den Kelder, G., Rombouts, P. & Boosten, M. (2022). Koolstofcredits voor agroforestry in Noord-Brabant. Stichting Probos, Wageningen. <https://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/Eindrapportage-verkenning-C-credits-agroforestry-Noord-Brabant-april2022.pdf>

Reynolds, P. E., Simpson, J. A., Thevathasan, N. V., & Gordon, A. M. (2007). Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecological Engineering*, 29(4), 362-371. doi:10.1016/j.ecoleng.2006.09.024

Rivest, D., Cogliastro, D., Vanasse, A., Olivier, A., 2009. Production of soybean associated with different hybrid poplar clones in a tree-based intercropping system in southwestern Québec, Canada, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 131, Issues 1-2, 2009, Pages 51-60, ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.011>.

Roersch, J.C., 1996. Populier en landbouw 1. Resultaten van de tussenteelt. In *Populier: tijdschrift voor teelt en afzet van populier en wilg* 3 (1): 17 – 19 1966

Roersch, J.C., 1997. Populier en landbouw: (slot). In *Populier: tijdschrift voor teelt en afzet van populier en wilg* 4 (1): 14 – 15 1967

Rowe, E. C., Hairiah, K., Giller, K. E., Noordwijk, M. V., & Cadisch, G. (1999). Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by 15N placement at different soil depths. *Agroforestry for Sustainable Land-Use Fundamental Research and Modelling with Emphasis on Temperate and Mediterranean Applications Forestry Sciences*, 81-93. doi:10.1007/978-94-017-0679-7_5

Rowe, R. L., Hanley, M. E., Goulson, D., Clarke, D. J., Doncaster, C. P., & Taylor, G. (2011). Potential benefits of commercial willow Short Rotation Coppice (SRC) for farm-scale plant and invertebrate communities in the agri-environment. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 325-336. doi:10.1016/j.biombioe.2010.08.046

RVO (2022a). Bos en bomen kappen. Geraadpleegd 25 oktober 2022 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/bomen/bos-en-bomen-kappen>

RVO (2022b). De eco-regeling 2023. Geraadpleegd 12 april 2023 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/glb-2023/eco-regeling>

RVO (2022c). Landschapselementen 2023. Geraadpleegd 12 april 2023 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/glb-2023/landschapselementen>

Santiago-Freijanes, J.J., Mosquera-Losada, M.R., Rois-Díaz, M., Ferreira-Dominguez, N., Pantera, A., Aldrey, J.A., Rigueiro-Rodríguez, A. (2021). Global and European policies to foster agricultural sustainability: agroforestry. *Agroforest Syst* (2021) 95:775–790. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0215-9>

Schoeneberger, M., Bentrup, G., Gooijer, H. D., Soolanayakanahally, R., Sauer, T., Brandle, J., . . . Current, D. (2012). Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(5). doi:10.2489/jswc.67.5.128a

Schoutsen, M., Smit, E. & van Leeuwen, S. (2022). Agroforestry in de akkerbouw: ondernemers en hun zoektocht naar een passend ontwerp. Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/532916>

Schroth, G., da Fonseca, A.B., Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L. & Izac, A.M.N. (2004). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press, Washington, USA.

Seiter S, Ingham ER, William RD, Hibbs DE (1995) Increase in soil microbial biomass and transfer of nitrogen from alder to sweet corn in an alley cropping system. In: Ehrenreich JH, Ehrenreich DL, Lee HW (eds) *Growing a sustainable future*. University of Idaho, Boise, ID, pp 56–158

Selin-Norén, I. (2019). Factsheet Agroforestry 2. Biodiversiteit vergroten, hoe doe ik dat? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/495298>

Selin-Norén, I. (2022). Factsheet Agroforestry 9. Hoe kan agroforestry bijdragen aan klimaatadaptatie van de landbouw? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/580732>

Selin-Norén, I. & Dawson, A. (2020). Factsheet agroforestry 5. Agroforestry; wat zijn de mogelijkheden van mechanisatie? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/529793>

Selin-Norén, I., Dawson, A. & van der Voort, M. (2019). Factsheet Agroforestry 4. Agroforestry, wat levert het financieel op? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/507628>

Selin-Norén, I. & Schoutsen, M. (2022). Factsheet Agroforestry 8. De faciliteit voor agroforestry-onderzoek in de Nederlandse akkerbouw. Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/580916>

Semere, T., & Slater, F. (2007). Invertebrate populations in miscanthus (*Miscanthus×giganteus*) and reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass and Bioenergy*, 31(1), 30-39. doi:10.1016/j.biombioe.2006.07.002

Sereke, F., Dobricki, M., Wilkes, J., Kaeser, A., Graves, A. R., Szerencsits, E., Herzog, F.. (2015). Swiss farmers don't adopt agroforestry because they fear for their reputation. *Agroforestry Systems* 90(3): 385-394.

Shrestha, R. K., Alavalapati, J. R. R., Kalmbacher R. S. (2004) Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: An application of SWOT-AHP method. *Agricultural Systems* 81(3): 185–99. doi:10.1016/j.agsy.2003.09.004.

Sileshi, G., Schroth, G., Rao, M., & Girma, H. (2008). Weeds, Diseases, Insect Pests, and Tri-Trophic Interactions in Tropical Agroforestry. *Ecological Basis of Agroforestry*, 73-94. doi:10.1201/9781420043365.ch5

Smith, J., Pearce, B. D., & Wolfe, M. S. (2013). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28(01), 80-92. doi:10.1017/s1742170511000585

Smith, J., Girling, R., Wolfe, M. S. & Pearce, B. (2014) Agroforestry: integrating apple and arable production as an approach to reducing copper use in organic and low-input apple production. In: *Agriculture and the Environment X: Delivering Multiple Benefits from our Land: Sustainable Development in Practice*, 15-16 Apr 2014, Edinburgh, Scotland, pp. 278-284.

Stamps, W.T., Linit, M.J., (1998) Plant diversity and arthropod communities: implications for temperate agroforestry. *Agroforest. Syst.* 39, 73-89.

Stamps, W. T., McGraw, R. L., Godsey, L., Woods, T. L. (2009). The ecology and economics of insect pest management in nut tree alley cropping systems in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 131(1-2): 4-8.

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>

Stichting Agrodome (n.d.). De agrarische sector en bio grondstoffen; nieuwe kansen. Geraadpleegd 12 april 2023 van <https://stichting.agrodome.nl/de-agrarische-sector-en-bio-grondstoffen-nieuwe-kansen/>

Swieter, A., Langhof, M., Lamerre, J., & Greef, J. M. (2019). Long-term yields of oilseed rape and winter wheat in a short rotation alley cropping agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 93(5), 1853-1864. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0288-5>

Thevathasan, N. V., Gordon, A. M., Simpson, J. A., Reynolds, P. E., Price, G., & Zhang, P. (2004). Biophysical and Ecological Interactions in a Temperate Tree-Based Intercropping System. *Journal of Crop Improvement*, 12(1-2), 339-363. doi:10.1300/j411v12n01_04

Thevathasan, N., & Gordon, A. (2004). Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 61-62(1-3), 257-268. doi:10.1023/b:agfo.0000029003.00933.6d

The Woodland Trust (2015). Trees mean better business for egg production. Case study report. Geraadpleegd 25 oktober 2022 van <https://www.woodlandtrust.org.uk/publications/2015/01/trees-mean-better-business-for-egg-production/>

Thiesmeier, A., & Zander, P. (2023). Can agroforestry compete? A scoping review of the economic performance of agroforestry practices in Europe and North America. *Forest Policy and Economics*, 150(March). <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.102939>

Tilman, D. & Snell-Rood, E. (2014). ECOLOGY Diversity breeds complementarity. *Nature*. 515. 10.1038/nature13929.

Timmermans, B. & Bestman, M. (2016). Kwaliteit van appelbomen en appels in kippenuitlopen. Louis Bolk Instituut, Driebergen. <https://edepot.wur.nl/381239>

Timmerman, M., K. van Reenen, H. Holster, A. Evers (2018). Verkennende studie naar hittestress bij melkvee tijdens weidegang in gematigde klimaatstreken. Wageningen Livestock Research, Rapport 1117.

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150-161. doi:10.1016/j.agee.2016.06.002

Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., . . . Wanger, T. C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - a review. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 619-629. doi:10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x

Tsonkova, P., Böhm, C., Quinkenstein, A., & Freese, D. (2012). Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: A review. *Agroforestry Systems*, 85(1), 133-152. doi:10.1007/s10457-012-9494-8

-
- Tsonkova, P., Mirck, J., Böhm, C., Fütz, B., Freese, D. (2016) The lack of a clear definition of agroforestry hinders its acceptance in Germany. Oral presentation at 3rd European Agroforestry Conference, Montpellier.
- Tyndall, J., & Colletti, J. (2007). Mitigating swine odor with strategically designed shelterbelt systems: A review. *Agroforestry Systems*, 69(1), 45-65. doi:10.1007/s10457-006-9017-6
- Udawatta, R. P., Anderson, S. H., Gantzer, C. J., & Garrett, H. E. (2006). Agroforestry and Grass Buffer Influence on Macropore Characteristics. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1763. doi:10.2136/sssaj2006.0307
- Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Anderson, S. H., & Garrett, H. E. (2008a). Agroforestry and Grass Buffer Effects on Pore Characteristics Measured by High-Resolution X-ray Computed Tomography. *Soil Science Society of America Journal*, 72(2), 295. doi:10.2136/sssaj2007.0057
- Udawatta, R. P., Kremer, R. J., Adamson, B. W., & Anderson, S. H. (2008b). Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. *Applied Soil Ecology*, 39(2), 153-160. doi:10.1016/j.apsoil.2007.12.002
- Udawatta, R. P., Anderson, S., Garrett H., (2015) Influence of agroforestry buffers on root length density and soil water content, (Master's Thesis Eda Akdemir). Retrieved from: <http://greenley.cafnr.org/assets/sites/5/Influence-of-Agroforestry-Buffers-on-Root-Length-Density-and-Soil-Water-Content.pdf>
- Vandeleur, R. K., & Gill, G. S. (2004). The impact of plant breeding on the grain yield and competitive ability of wheat in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(8), 855. doi:10.1071/ar03136
- Van der Meer, F. (2022). Factsheet Agroforestry 6. Agroforestry en mycorrhizele schimmels, hoe werkt het en wat zijn de voordelen? Wageningen University & Research, Lelystad. <https://edepot.wur.nl/563157>
- Van der Werf, W. & Keesman, K., Burgess, P., Graves, A.R., Pilbeam, D., Incoll, L.D., Metselaar, K., Mayus, M.M., Stappers, R.J.J., Keulen, Palma, J. & Dupraz, C. (2007). Yield-SAFE: A parameter-sparse process-based dynamic model for predicting resource capture, growth and production in agroforestry systems. *Ecological Engineering* 29 (2007) 4. 29. 10.1016/j.ecoleng.2006.09.017.
- Van Dixhoorn, I.D.E. (2024), Disease resilience in farm animals, 2024. <https://edepot.wur.nl/640424>.
- Van Eekeren, N.J.M., Luske, B., Vonk, M., Ansems, E., Daniels, E. (2014). Voederbomen in de landbouw: meer waarde per hectare door multifunctioneel landgebruik. Louis Bolk Instituut, Driebergen. <https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/2931.pdf>
- Van Grinsven, H.J.M., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., Sutton, M.A., & Willems, W.J., 2013. Costs and Benefits of Nitrogen for Europe and Implications for Mitigation. *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 3571–3579
- Van Laer, E., C. P. H. Moons, B. Sonck, and F. A. M. Tuytens. 2014. Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates. *Livestock Science* 159:87-101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.003>
- Van Vooren, L., Reubens, B., Ampoorter, E., Broekx, S., Pardon, P., Van Waes, C., & Verheyen, K. (2018). Monitoring the Impact of Hedgerows and Grass Strips on the Performance of Multiple Ecosystem Service Indicators. *Environ Manage*, 62(2), 241-259. doi:10.1007/s00267-018-1043-4
- Van Vooren, L., Reubens, B., Broekx, S., Pardon, P., Reheul, D., Winsen, F. V., Van Winsen, F., Verheyen, K., Wauters, E. & Lauwers, L. (2016). Greening and producing: An economic assessment framework for integrating trees in cropping systems. *Agricultural Systems*, 148, 44-57. doi:10.1016/j.agry.2016.06.007
- Van Well, E., Vermeulen, E., & Penninkhof, J. (2022). Bomen, landbouw, klimaat en bodem. CLM, Culemborg. https://www.clm.nl/wp-content/uploads/2022/04/1111-CLMrapport-Bomen_landbouw_klimaat_bodem.pdf
- Varchola, J. M., & Dunn, J. P. (2001). Influence of hedgerow and grassy field borders on ground beetle (Coleoptera: Carabidae) activity in fields of corn. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83(1-2), 153-163. doi:10.1016/s0167-8809(00)00249-8

Wakelyns (n.d.). Agroforestry. Geraadpleegd 19 april 2023 van <https://wakelyns.co.uk/agroforestry/>

Wang, Z., Yin, Y., He, M., Zhang, Y., Lu, S., Li, Q., & Shi, S. (2003). Allocation of Photosynthates and Grain Growth of Two Wheat Cultivars with Different Potential Grain Growth in Response to Pre- and Post-anthesis Shading. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(5), 280-285. doi:10.1046/j.1439-037x.2003.00041.x

Wagenaar, J. P., J. D. Wit, M. Hospers-Brands, W. Cuijpers, and N. V. Eekeren. 2017. Van gepeperd naar gekruid grasland: Functionaliteit van kruiden in grasland, Louis Bolk Instituut, Bunnik.

Wartelle, R. (2014). Initial Stakeholder Meeting Report Agroforestry for Arable Farmers in Northern France. (Ed PJ Burgess). 16 December 2014. P. 10. Available online: <http://www.agforward.eu/index.php/en/agroforestry-for-arable-farmers-in-northern-france.htm>

Wesseling, J., van der Zee, S., & van Overveld, A. (2011). Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit: Update 2011. RIVM.

Wigboldus, S., van Leeuwen, S., Schoutsen, M., Vijn, M. & Kruit, J. (2022). Agroforestry kansrijk(er) maken in Nederland. Wageningen University & Research, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/585185>

Willems, A.J.H., 1989. Mengteeltproef in Overijssel. In *Nederlands bosbouw tijdschrift* 61 (5): 150 – 152 1989

Willey, R. W. (1979). Intercropping - its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts*, 32, 1-10.

Wilson, M. H., Taylor Lovell, S. (2016) Agroforestry—The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture. *Sustainability* 8: 574. doi:10.3390/su8060574

Wilson, S. C., F. M. Mitlöhner, J. Morrow-Tesch, J. W. Dailey, and J. J. McGlone. 2002. An assessment of several potential enrichment devices for feedlot cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 76(4):259-265. doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00019-9)

Woodcock BA, Redhead J, Vanbergen AJ, Hulmes L, Hulmes S, Peyton J, Nowakowski M, Pywell RF, Heard MS (2010) Impact of habitat type and landscape structure on biomass, species richness and functional diversity of ground beetles. *Agric Ecosyst Environ* 139:181–186. doi:10.1016/j.agee.2010.07.018

WUR (2022a). Course overview 2022 Wageningen University and Research. Geraadpleegd 20 december van <https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/environmental-sciences/forest-ecology-and-forest-management-group/education/courses.htm>

Xu, Y., Lehmann, L. M., De Jalón, S. G., & Ghaley, B. B. (2019). Assessment of productivity and economic viability of combined food and energy (cfe) production system in Denmark. *Energies*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/en12010166>

Yu, Y., Stomph, T., Makowski, D., & Werf, W. V. (2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 184, 133-144. doi:10.1016/j.fcr.2015.09.010

Žalac, H., Burgess, P., Graves, A., Giannitsopoulos, M., Paponja, I., Popović, B., & Ivezić, V. (2021). Modelling the yield and profitability of intercropped walnut systems in Croatia. *Agroforestry Systems*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00611-z>

Zhang, F., & Li, L. (2003). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil*, 248, 305-312. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022352229863>

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



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

info.openteelten@wur.nl

Rapport WPR-OT 1159

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.
