

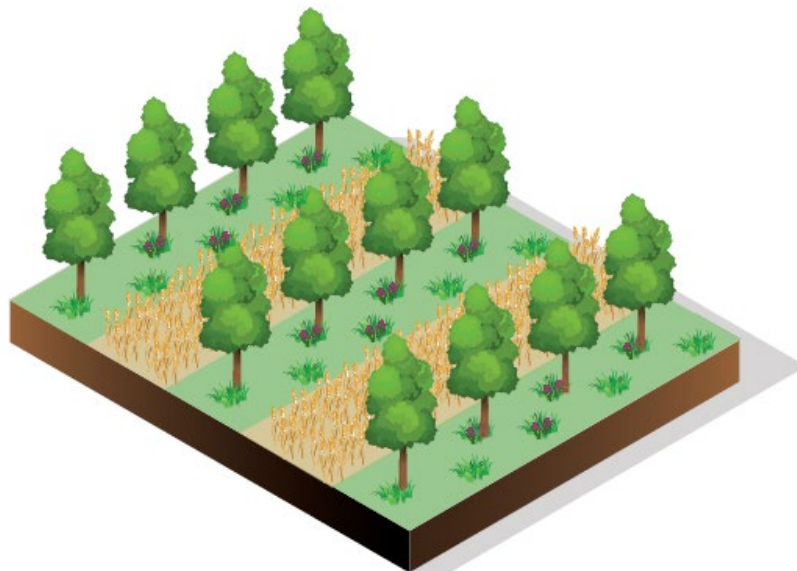
Verkenning naar de potentie van agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de provincie Zeeland

Auteurs | Lennart Fuchs¹ | Folkert van der Meer² | Maureen Schoutsen¹ | Elsbeth Smit¹

¹ Wageningen University & Research | ² Student Open Universiteit

Rapport WPR-OT-879

Verkenning naar de potentie van agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de provincie Zeeland



Inventarisatie vanuit bestaande literatuur van de (mogelijke) effecten van silvo-arable agroforestry op stikstofstromen en een interpretatie van hoe de stikstofdynamiek in agroforestry systemen verschilt ten opzichte van die van de monocultuur akkerbouw.

Auteurs: Lennart Fuchs¹, Folkert van der Meer², Maureen Schoutsen¹, Elsbeth Smit¹

1 Onderzoekers Wageningen University & Research

2 Student Open Universiteit

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

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

Lelystad, juni 2021

Rapport WPR-OT-879

Fuchs, L., Van der Meer, F., Schoutsen, M., Smit, E. 2021. Verkenning naar de potentie van agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de provincie Zeeland. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 879.

Deze publicatie is te downloaden via <https://doi.org/10.18174/568426>

Samenvatting

Er is een verkenning uitgevoerd naar de potentie van (silvo-arable) agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de Provincie Zeeland. Dit heeft voornamelijk plaatsgevonden in de vorm van verkennend literatuuronderzoek. In dit rapport zijn de verschillende effecten van agroforestry op de stikstofstromen in een teeltsysteem onderverdeeld in vier categorieën: 1) Efficiëntere N opname, via de opname uit diepere bodemlagen door boomwortels, en N fixatie door stikstoffixerende bomen; 2) De verhoogde omvang van N in de cyclus via de biomassa van bomen, in de vorm van bladval, snoeiafval en wortelresten; 3) De N opslag in het systeem, zowel in de bodem als in de biomassa van de boom; 4) De hogere N depositie in gebieden achter bomen(rijen) en afvang van atmosferische stikstof. Ondanks dat de effecten afhankelijk zijn van het type agroforestry- en teeltsysteem en er maar spaarzaam data beschikbaar is van agroforestry in Nederland en omgeving, is er een voorzichtige kwantificering gedaan op basis van de beschikbare data naar de veranderende stikstofstromen in een voorbeeld agroforestry systeem met walnoot en een gangbare gewasrotatie van éénjarige gewassen. Hieruit kan opgemaakt worden dat de grootste winst te behalen lijkt te zijn in de N opname uit diepere bodemlagen via boomwortels. Er is een verwachte hogere N efficiëntie en een betere algehele N kringloop, wat kan leiden tot lagere N verliezen. Kortom, deze notitie toont de potentie van agroforestry om via verschillende aspecten een bijdrage te leveren aan de vermindering van ongewenste stikstof emissies naar het milieu. Hiermee kan agroforestry een onderdeel zijn van een totale strategie om de stikstof emissies te beperken. Daarmee kan de notitie handvatten bieden voor de provincie Zeeland om hun beleid rondom agroforestry en stikstofproblematiek in te vullen.

Trefwoorden: *Agroforestry, akkerbouw, bomenteelt, emissies, silvo-arable, stikstof, walnoot, Zeeland*

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

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

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

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

Rapport WPR-OT-879

Foto omslag: WUR (2019)

Inhoud

Inleiding	5
Aanleiding	5
Werkwijze	5
Leeswijzer	5
1 Agroforestry: Wat, waarom, hoe?	7
1.1 Wat is agroforestry?	7
1.2 Waarom kiezen voor agroforestry?	7
1.3 Hoe ziet een agroforestry systeem eruit?	7
2 Stikstofstromen in de akkerbouw	11
2.1 N inputs	11
2.2 N outputs	11
2.3 N cyclus in de bodem	12
3 Effecten van Agroforestry op stikstofstromen	13
3.1 Efficiëntere N opname en N fixatie door stikstoffixerende bomen	13
3.1.1 N opname uit diepere bodemlagen via boomwortels	14
3.1.2 N fixatie via stikstoffixerende bomen	15
3.2 De verhoogde omvang van N in de cyclus: N inputs uit bladval & wortelresten	15
3.2.1 N input uit bladval	15
3.2.2 N input uit wortelresten	16
3.3 N opslag in het systeem: N opslag in biomassa en bodem	16
3.3.1 N opslag in de bodem	16
3.3.2 N opslag in biomassa	17
3.4 N afvang en depositie uit de atmosfeer	18
3.4.1 Effect op N depositie	18
3.4.2 Directe N afvang	18
3.4.3 N afvang via gasuitwisseling	18
3.4.4 Hoe kan je het beste inzetten op N afvang?	19
4 Kwantificering stikstofstromen in voorbeeldsysteem met walnoot	21
4.1 Stikstofstromen in monocultuur akkerbouw	21
4.2 Stikstofstromen in agroforestry systeem met walnotenbomen	22
5 Conclusie & Aanbevelingen	25
5.1 Conclusie	25
5.2 Aanbevelingen	25
Literatuur	27

Inleiding

Aanleiding

In oktober 2020 sloot de provincie Zeeland aan bij het Landelijk onderzoeksprogramma (PPS) Agroforestry. De provincie Zeeland heeft een unieke landbouwsituatie. Denk hierbij aan het grootste aandeel grond in gebruik voor akkerbouw van alle provincies in Nederland, het aanzienlijke aandeel fruitteelt, en het feit dat Zeeland een stikstof-importerende provincie is, met voornamelijk stikstofdepositie vanuit het buitenland en van de scheepvaart, en als akkerbouwprovincie minder mogelijkheden heeft om iets te doen aan de reductie in stikstofdepositie. Toch staat de provincie voor dezelfde opgaves (*biodiversiteit beschermen, herstellen en ontwikkelen; veilig en verantwoord voedsel produceren en het creëren van een gezonde economie*), en dat vraagt daarom om een gebiedsgerichte aanpak.

Dit leidde tot een separate opdracht vanuit de provincie Zeeland naar Wageningen University & Research, business unit Open Teelten. De opdracht luidt: 'Verkenning van de potentiële rol van agroforestry in het N beleid/luchtkwaliteit in Zeeland, trade-offs en co-benefits (factsheet of notitie; beoogde oplevering: eerste kwartaal 2021)'.

Een aanknopingspunt voor de positieve rol die agroforestry zou kunnen spelen in het regionale stikstofbeleid is het Vlaamse onderzoek (ILVO rapport, Brusselman et al. 2016), waaruit blijkt dat bomen en bosschages (zgn. kleine landschapselementen) een rol kunnen spelen bij stikstofopname.

In de verkenning is gekeken naar de potentie van agroforestry als oplossingsrichting voor de stikstofproblematiek in de provincie Zeeland. De verkenning richt zich op de silvo-arable variant van agroforestry (de combinatie van bomen met akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt). Deze vorm van agroforestry is de focus van het Landelijk onderzoeksprogramma Publiek Private Samenwerking (PPS) Agroforestry en passend bij de landbouwsector in de provincie Zeeland.

In nader overleg met de opdrachtgevers (mw. C.G.M. van Veggel, mw. M.A.W. Braspeninx en mw. J. Glerum) is de focus van de verkenning gelegd op het in kaart brengen van de stikstofstromen in een agroforestry systeem. De meest prangende vragen hierbij waren: in hoeverre leidt een agroforestry systeem tot andere stikstofstromen dan gangbare monocultuur akkerbouwsystemen? Kan deze nieuwe manier van landbouw een oplossing bieden voor de stikstofproblematiek?

Werkwijze

Agroforestry onderzoek in Nederland, en andere landen met soortgelijk klimaat, staat nog in de kinderschoenen. Vanuit een database met alle bestaande literatuur over silvo-arable agroforestry in een gematigd klimaat zijn de effecten op stikstofstromen geanalyseerd. Hieruit bleek dat veel van de wetenschappelijke literatuur hierover te specifiek of te kwalitatief was om hier concreet iets over te zeggen. Daarom is er daarna ook verder gezocht in de grijze literatuur, zijnde projectrapporten, verslagen etc. In deze notitie is er een inspanning gedaan om met alle bruikbare kennis en literatuur de rol van agroforestry op de stikstofdynamiek in kaart te brengen en daarmee de vragen te beantwoorden.

Leeswijzer

In Hoofdstuk 1 wordt een korte introductie over het concept en de voordelen van agroforestry gegeven. Hoofdstuk 2 beschrijft kort de stikstofstromen in een gangbaar akkerbouwsysteem, wat de opbouw is voor Hoofdstuk 3, waarin de effecten van agroforestry op de stikstofstromen worden beschreven vanuit

de theorie. Een voorzichtige kwantificering van deze effecten volgt in Hoofdstuk 4 voor een voorbeeld agroforestry systeem met walnoot en een gangbare akkerbouwrotatie. Tot slot is in Hoofdstuk 5 de conclusie opgetekend en worden enkele aanbevelingen gedaan.

1 Agroforestry: Wat, waarom, hoe?

1.1 Wat is agroforestry?

Agroforestry is een landbouwsysteem waarbij bomen en houtige gewassen gecombineerd worden met akkerbouw, groenteteelt of veeteelt op één perceel. Door deze teelten te combineren kan de weerbaarheid van het hele landbouwsysteem worden verhoogd. Agroforestry wordt steeds vaker genoemd als duurzame en innovatieve vorm van landbouw (WUR. 2021).

1.2 Waarom kiezen voor agroforestry?

Bomen combineren met landbouw of veeteelt op één perceel is een eeuwenoude praktijk. Rond 1970 kreeg de term een formele status in de mondiale wetenschappelijke gemeenschap en kon het zich vervolgens ontwikkelen tot een gevestigde onderzoeksdiscipline. Agroforestry wordt door onderzoeksinstituten en beleidsinstanties gezien als een veelbelovend systeem, dat een significante bijdrage kan leveren aan de huidige complexe uitdagingen in de landbouw.

Agroforestry heeft de potentie om een positieve bijdrage te leveren aan (WUR. 2021):

- Produceren van voedsel, veevoer en biomassa
- Efficiënt benutten van water, licht en nutriënten
- Klimaatmitigatie en -adaptie, door o.a. CO₂-vastlegging
- Versterken van de boven- en ondergrondse weerbaarheid van het landbouwsysteem
- Microklimaat effecten (bijvoorbeeld minder verdamping, betere bodemvochtvasthouding)
- Minder winderosie
- Verhogen van de biodiversiteit
- Economische weerbaarheid van het agrarische bedrijf door risicospreiding
- Bieden van een recreatief landschap

Binnen het landelijk onderzoeksprogramma (PPS) Agroforestry (2019-2022) is een serie van factsheets (factsheet 1 t/m 5) uitgebracht die dieper ingaan op een aantal van bovenstaande positieve effecten van agroforestry. Relevant in dit opzicht zijn de volgende factsheets:

- Factsheet 2 Biodiversiteit vergroten; hoe doe ik dat?: <https://edepot.wur.nl/495298>
- Factsheet 3 Klimaatcompensatie met agroforestry, wat is mogelijk?: <https://edepot.wur.nl/501459>
- Factsheet 4 Agroforestry, wat levert het financieel op?: <https://edepot.wur.nl/507628>

De redenen en motivaties van agrarisch ondernemers om te starten met agroforestry zijn zeer divers. Een aantal bedrijven, ondernemers en hun motivaties zijn beschreven in de brochure 'Agroforestry in de akkerbouw, ondernemers en hun zoektocht naar een passend ontwerp': <https://edepot.wur.nl/532916>.

1.3 Hoe ziet een agroforestry systeem eruit?

Om een agroforestry systeem te ontwerpen, is er een grote diversiteit aan mogelijkheden. Hierdoor kunnen agroforestry systemen enorm van elkaar verschillen. Binnen deze verkenning is de focus op de zogenaamde *silvo-arable agroforestry*, welke uitgaat van een combinatie van bomen en akkerbouw of groenteteelt.

Maar ook binnen silvo-arable systemen is er nog een grote variatie mogelijk. De specifieke doelen van een teler om agroforestry toe te passen zijn hierin bepalend, maar ook de lokale situatie (bv grondsoort, bodemgesteldheid, erosiegevoeligheid, watersituatie op gebieds- of perceelniveau etc.). Een teler kan een specifiek doel voor ogen hebben met de aanplant van bomen, bijvoorbeeld biodiversiteit, bodemvruchtbaarheid, windbuffer, waterkwaliteit of watervasthoudend vermogen.

Naast variërende doelen zijn er ook veel andere aspecten die het ontwerp van een agroforestry systeem beïnvloeden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de keuze van boomsoorten, die kunnen variëren in groeisnelheid, maar ook aan de verschillende onderhoudsbehoefte. Daarnaast zal de boomedichtheid en de oriëntatie (noord-zuid of oost-west) van invloed zijn op de interactie tussen de bomen en akkerbouwgewassen. Behalve het ontwerp van het bomendeel, heeft ook de keuze van het akkerbouwteeltsysteem effect. Denk aan de soorten gewassen in een vruchtwisseling, de teeltintensiteit en het bemestingsplan.

Er is dus geen eenduidig plaatje te schetsen van hoe een agroforestry systeem eruit ziet. Een aantal ontwerpen zijn te zien in de brochure 'Agroforestry in de akkerbouw, ondernemers en hun zoektocht naar een passend ontwerp' (zie paragraaf 1.2). Om een idee te geven van hoe zgn. rijenteelt (alley cropping) agroforestry systemen in een open polder landschap eruit kunnen komen te zien, zie onderstaande visualisaties (figuren 1 t/m 3). De houtige gewassoorten, de rijafstanden, maar ook het aantal bomenrijen naast elkaar, zijn variabel.



Figuur 1: voorbeeld agroforestry alley cropping systeem met hazelaars en aardappel



Figuur 2: voorbeeld agroforestry alley cropping systeem met dubbele rijen hazelaars, waarbij de éénjarige gewasstrook (aardappel) breder is (bv 36 m)



Figuur 3: voorbeeld agroforestry alley cropping systeem met drie dubbele rijen hazelaars, waarbij de éénjarige gewasstrook (aardappel) nog breder is (bv 54 m)

2 Stikstofstromen in de akkerbouw

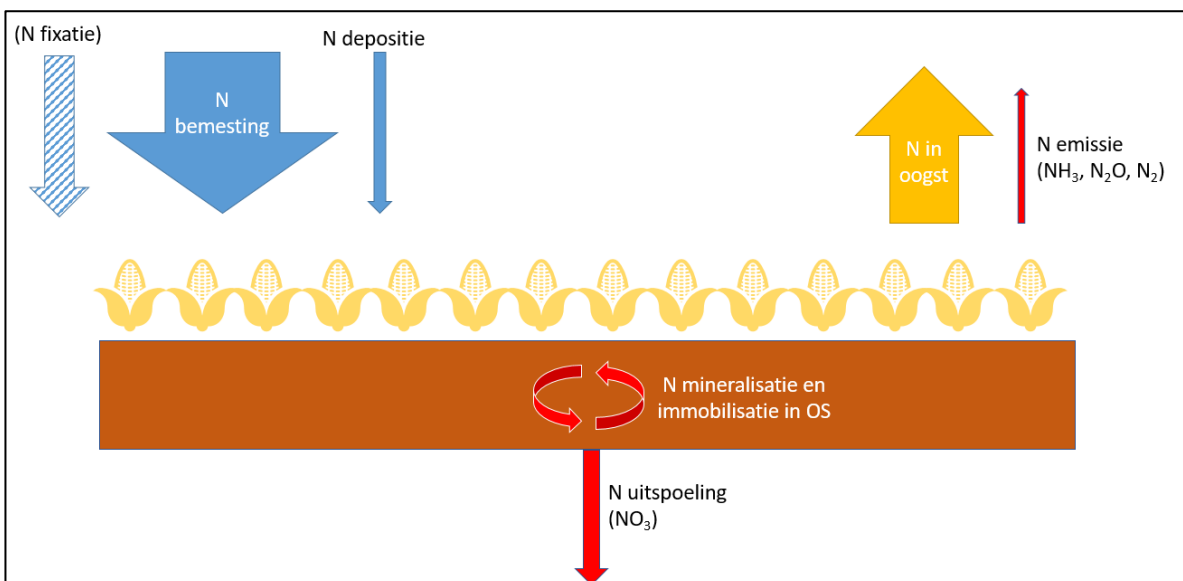
Om het effect van agroforestry op de stikstofdynamiek te bepalen, worden eerst globaal de stikstofstromen in een monocultuur akkerbouw beschreven en getoond in Figuur 1. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de stikstof (N) inputs, de N outputs en de N cyclus in de bodem.

2.1 N inputs

Drie verschillende N inputs worden getoond in Figuur 1. Voor de meeste akkerbouwgewassen is bemesting de voornaamste N input. De totale N bemesting kan bestaan uit verschillende soorten mest, zoals kunstmest, dierlijke mest en compost, en de hoeveelheid zal per gewas verschillen. Naast bemesting, vormt N depositie een significante bijdrage aan de totale N input. N depositie is voornamelijk een gevolg van de ammoniak (NH_3) concentraties in de lucht. Naast deze twee inputs van stikstof in de akkerbouw, kan er ook een input zijn door stikstoffixerende gewassen, zoals klover, bonen en erwten. Deze gewassen kunnen via een samenwerking met Rhizobia bacteriën in de wortelknolletjes, distikstof (N_2) uit de lucht omzetten in door de plant opneembare stikstof.

2.2 N outputs

Kijkend naar N outputs in een akkerbouwsysteem (Figuur 1), vormt de N in de geoogste producten de voornaamste stroom. De geoogste producten (bijv. graan, aardappels, suikerbiet) bevatten een bepaald percentage stikstof, welke door de oogst uit het systeem wordt gehaald. Afhankelijk van het gewas en het management, kunnen ook bijproducten, zoals stro, geoogst worden. Naast de stikstof in geoogste producten, treden er zowel in natuurlijke als in landbouwsystemen ook N verliezen op. In landbouwsystemen zijn deze vaak aanzienlijk hoger door een hogere concentratie aan minerale en reactieve stikstof in de bodem. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen N verliezen naar de atmosfeer en N uitspoeling naar diepere bodemlagen en grondwater. N verliezen naar de lucht bestaan voornamelijk uit: 1) vervluchtiging van ammoniak (NH_3), voornamelijk uit dierlijke mest en kunstmest, 2) denitrificatie in de bodem, wat leidt tot emissies van lachgas (N_2O) en N_2 . N uitspoeling ontstaat als nitraat (NO_3) in de bodem via neerslag uitspoelt naar diepere bodemlagen en het grondwater. (In hoofdstuk 4 volgt een voorzichtige kwantificering van deze effecten).



Figuur 1 Globale stikstofstromen in een monocultuur akkerbouw

2.3 N cyclus in de bodem

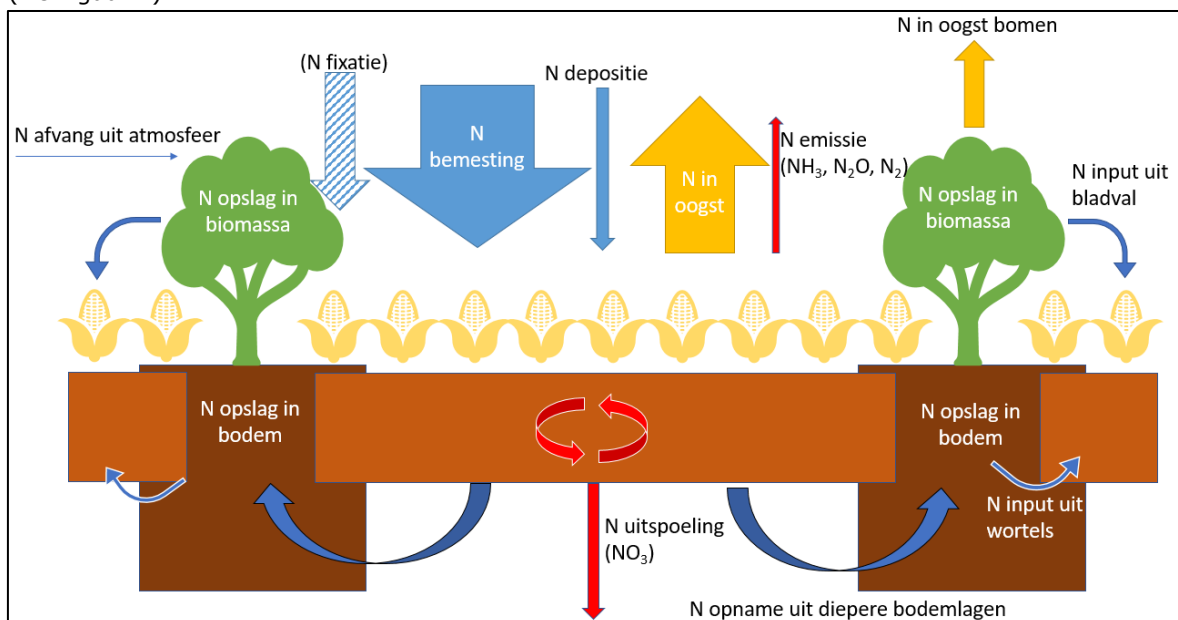
Naast de N inputs en N outputs, blijft er ook altijd stikstof aanwezig in de bodem als organische stof. Uit deze organische stof zal gedurende het jaar N mineraliseren en beschikbaar komen voor planten, maar er zal ook beschikbare N immobiliseren. Als het systeem en de bodem in balans zijn, zal dit op jaarbasis netto geen extra N input of N output geven.

3 Effecten van Agroforestry op stikstofstromen

Het toevoegen van bomenrijen aan een (monocultuur) akkerbouw zal effecten hebben op meerdere aspecten van het systeem, waaronder ook de stikstofstromen. Bomen hebben een ander groeipatroon dan éénjarige gewassen, zowel bovengronds als ondergronds. Dit zorgt voor een systeem met meer diversiteit, wat leidt tot meer variatie in de interacties tussen de planten, de bodem en de atmosfeer. Dit maakt het hele systeem complexer en dit geldt ook voor de stikstofstromen.

De stikstofstromen in een akkerbouwsysteem, zoals beschreven in Hoofdstuk 2, blijven grotendeels bestaan. Zo zijn er in een agroforestry systeem ook N inputs via bemesting, depositie en eventueel fixatie, en zijn er N outputs via N in geoogst product en N verliezen naar de bodem en atmosfeer.

Indien er noten, vruchten en/of biomassa van de bomen geoogst worden, zal dit een extra N output vormen. Daarnaast zullen er nog een aantal extra stikstofstromen toegevoegd worden aan het geheel (zie Figuur 2).



Figuur 2 Globale stikstofstromen in een silvo-arable agroforestry systeem

Op basis van de beschikbare data en literatuur over agroforestry systemen, zijn de effecten van agroforestry op stikstofstromen onderverdeeld in vier categorieën, vergelijkbaar met werk van Mabilde (2014) en Nelissen *et al.* (2018). Hieronder worden deze vier gecategoriseerde effecten verder toegelicht en wordt de theoretische onderbouwing gegeven aan de hand van literatuur.

3.1 Efficiëntere N opname en N fixatie door stikstoffixerende bomen

Twee stikstofstromen in agroforestry die kunnen zorgen voor een lager N verlies door minder uitspoeling, zijn de N opname uit diepere bodemlagen via boomwortels en eventuele N fixatie via de toepassing van stikstoffixerende bomen.

3.1.1 N opname uit diepere bodemlagen via boomwortels

Het wortelstelsel van bomen kan in agroforestry op een aantal wijzen bijdragen aan de groei van naburige gewassen. Allereerst wortelen bomen dieper dan vrijwel alle gangbare gewassen. De opgebrachte stikstofverbindingen die niet door de gewassen worden opgenomen, zullen in eerste instantie uitspoelen naar de diepere bodem. Wanneer daar boomwortels aanwezig zijn kunnen deze de uitgespoelde nutriënten (gedeeltelijk) alsnog opnemen en op deze wijze fungeren als een soort 'vanggewas' zoals dat ook in de akkerbouw gebruikelijk is. In de literatuur wordt dit ook wel de 'safety-net hypothesis' genoemd (Allen *et al.* 2004).

In een onderzocht systeem in de Verenigde Staten was de N 'winst' in aanzienlijk. Hierin vergeleken onderzoekers Wolz *et al.* (2018) de verliezen van stikstofverbindingen in een intensieve teeltcombinatie van mais en sojabonen en een minder intensief agroforestry systeem, met een permanente grasklaver teelt in combinatie met diverse vruchtdragende bomen, als tamme kastanje (*Castanea*), appel (*Malus*), hazelaar (*Corylus*) en druiven (*Vitis*). De uitspoeling van NO₃ (nitraat) per hectare werd in het agroforestry perceel met 81-91% gereduceerd ten opzichte van het mais-soja perceel. Het is echter niet duidelijk waar de verschillen in N dynamiek precies door zijn ontstaan. Deze vermindering van N verliezen zal dus niet geheel toe te schrijven zijn aan de N opname uit diepere bodemlagen, maar dit speelt waarschijnlijk wel een belangrijke rol. In dit voorbeeld waren de N emissies (NO₃ en N₂O) per hectare relatief lager in het agroforestry systeem, wat de lokale omgeving ten goede zal komen. Op totaal productieniveau waren de emissies per kg product vergelijkbaar voor N uitspoeling en relatief hoger voor N₂O emissie in het agroforestry systeem. Aangezien N₂O een sterk broeikasgas is, is dat niet gewenst. De bomen en struiken in het beschreven agroforestry systeem waren echter nog jong en de opbrengst dus nog niet op maximale potentie.

Allen *et al.* (2004) lieten afnames van nitraatuitspoeling zien ten gevolge van boomwortels op 30 en 90 centimeter diepte van respectievelijk zo'n 50% en 65%. Een deel van deze stikstof en andere nutriënten die opgenomen worden uit de diepere bodemlagen kunnen later via bladval, snoeiafval en wortelresten alsnog beschikbaar komen voor gewassen. Dit fenomeen wordt ook wel de nutriëntenpomp functie van bomen genoemd (Nelissen *et al.* 2017).

Bovenstaande onderzoeken tonen aan dat er bewijs is dat het toevoegen van bomen aan een teeltsysteem kan leiden tot een lager N verlies door minder uitspoeling. Hoeveel dit is varieert echter per agroforestry systeem.

Opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse situatie

Wat betreft bovengenoemde effecten van bomen, kan het een en ander gezegd worden over de Zeeuwse praktijk. De optimale diepte waarop bomen kunnen wortelen bedraagt ongeveer een meter. Indien het grondwaterpeil normaliter boven deze stand ligt, verkleint dit de groeimogelijkheden voor de wortels (Kaljee. 2004). Dit hoeft voor de bomengroei niet problematisch te zijn, want er kunnen soorten geselecteerd worden die goed gedijen in de lokale omstandigheden. Echter, de (verticale) ruimte waarbinnen de boomwortels uitspoelend nitraat kunnen opnemen neemt wel af met een hogere grondwaterstand. Omgekeerd neemt de snelheid waarmee het nitraat in dit grondwater kan uitspoelen dan toe. Het is dus niet ondenkbaar dat het effect van boomwortels op laaggelegen Zeeuwse gronden (zoals Tholen en Schouwen-Duiveland) minder groot zal zijn dan op hoger gelegen gronden.

Daarnaast zijn er in sommige Zeeuwse gebieden zilte gronden, door instroom en inmenging van zout (grond)water. Ook (zware) kleigronden zijn opvallend in de Zeeuwse situatie. Hiermee dient bij het ontwerp van een agroforestry systeem dan ook nadrukkelijk rekening mee gehouden worden. Zo is het goed om bij de keuze voor soorten bomen en struiken de zouttolerantie in acht te nemen, evenals de geschiktheid van grondsoort (zware klei).

De verwachting is dat, binnen een passend agroforestry systeem, dezelfde effecten op zullen treden, zoals beschreven in dit hoofdstuk. De lokale omstandigheden kunnen dit echter wel deels beïnvloeden. Zo zijn kleigronden bijvoorbeeld minder gevoelig voor N uitspoeling. De verblijfstijd in de bodem van wateroplosbare stikstof verbindingen is echter veel hoger dan op zandgronden. Hierdoor kan er weer meer van de N terug opgenomen worden uit lagen onder de beworteling van de éénjarige gewassen.

3.1.2 N fixatie via stikstoffixerende bomen

Binnen het ontwerp van een agroforestry systeem kan gekozen worden voor de inpassing van stikstoffixerende bomen en struiken. Twee veelvoorkomende boomsoorten die stikstof kunnen fixeren en geschikt kunnen zijn voor agroforestry zijn Robinia (bijv. *Robinia pseudoacacia*) en elzen (*Alnus*). Een voorbeeld van een struikgewas dat stikstof kan fixeren is de duindoorn (*Hippophae rhamnoides*). Robinia is een vlinderbloemige, die net als klaver en bonen stikstof kan fixeren via een mutualistische symbiose met bacteriën van het geslacht *Rhizobium*. Elzen en duindoorn kunnen op een vergelijkbare manier stikstof fixeren via een symbiose met bacteriën uit het geslacht *Frankia*. Door deze fixatie, kunnen deze boomsoorten extra stikstof toevoegen aan het agroforestry systeem en zullen ze mogelijk ook minder concurreren met de akkerbouwgewassen. Daarnaast hebben stikstoffixerende bomen vaak een hogere N concentratie in afstervende biomassa, zoals bladeren en wortels, die beschikbaar kunnen komen voor de akkerbouwgewassen in het systeem (Luske et al. 2014; Mabilde. 2014; Tallieu. 2011).

Kijkend naar de grootte van de N inputs via stikstoffixerende bomen, zal dit erg afhankelijk zijn van de omstandigheden. Denk hierbij aan aspecten als de boomedichtheid en N beschikbaarheid in de bodem, maar ook de algemene groeiomstandigheden. Over het algemeen zal er bij een hogere groeisnelheid ook meer N gefixeerd worden. Luske et al. (2014) hebben het over een jaarlijkse N fixatie in elzen van 50-185 kg N per ha en in Robinia pseudoacacia van 30-35 kg N per ha. Daarnaast hebben elzen vaak een positief effect op de organische stofkwaliteit (Luske et al. 2014).

Het inpassen van stikstoffixerende bomen kan dus een aanzienlijke N input vormen in een agroforestry systeem. De toepasbaarheid hiervan zal echter afhankelijk zijn van de doelstelling en wensen van de teler en van het verdienmodel.

3.2 De verhoogde omvang van N in de cyclus: N inputs uit bladval & wortelresten

Een extra stikstofstroom die ontstaat in agroforestry systemen is de N input van afstervende biomassa van bomen of struiken, in de vorm van bladval, wortelresten en in sommige gevallen ook snoeiafval. Dit is niet direct een stroom die N van buiten het systeem haalt, maar wel een stroom die de interne N cyclus bevordert. Ook is het belangrijk te vermelden dat deze stroom voornamelijk nabij de bomenrij plaatsvindt en het effect dus minder sterk wordt verder van de bomenrij af. Ook zal dit effect in jonge agroforestry systemen een stuk kleiner zijn dan in oudere systemen (Pardon et al. 2017). Een deel van deze N inputs zal beschikbaar komen voor de akkerbouwgewassen, maar een deel kan ook weer opgenomen worden door de boom zelf of bijdragen aan de bodem organische stof.

De N stroom via snoeiafval is sterk afhankelijk van de onderhoudsbehoefte van de boomsoort en wordt in sommige gevallen ook 'geoogst' en gebruikt voor andere doeleinden. Daarom wordt deze stroom hier niet verder besproken.

3.2.1 N input uit bladval

Voor de meeste boomsoorten zal er het hele jaar door wat bladval plaats vinden, maar zal dit voornamelijk in het najaar zijn. De N input via bladval is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid bladval en de N concentratie in dit blad. De hoeveelheid N die uiteindelijk via bladval opgenomen wordt door de akkerbouwgewassen is vervolgens afhankelijk van de mineralisatie van de N uit het blad in de bodem en de synchronisatie hiervan met de N opname van het gewas.

In een studie van Zhang (1999) in Canada, is onder andere de bladval gemeten in een agroforestry systeem met verschillende boomsoorten van ongeveer 10 jaar oud met een rijafstand van 12,5-15m en een in-rij afstand van 6m. Niet verrassend, werd hier gevonden dat de bladval inderdaad voornamelijk nabij de bomenrijen plaats vindt. Tussen de verschillende boomsoorten was ook een grote variatie te zien. Zo was de bladval over het algemeen hoger in witte esdoorn en populier, gemiddeld in Amerikaanse es en Amerikaanse eik, en lager in zwarte walnoot. De N concentraties in het blad varieerden iets minder

sterk, maar deze waren het hoogst voor zwarte walnoot en witte esdoorn, en wat lager voor de overige drie boomsoorten. De jaarlijkse N input via bladval naar de bodem varieerde van 1,74-15,2 kg N per ha (Zhang. 1999).

3.2.2 N input uit wortelresten

Over de N input uit wortelresten is minder bekend en dit effect is ook moeilijker te meten. Enkele data die beschikbaar zijn suggereren echter dat in boscsystemen de afstervende wortels en mycorrhizae wel twee derde van de N input uit gewasresten bedragen (Cole & Rapp. 1981; Seiter & Horwath. 1999 Vogt *et al.* 1986). Het is dus niet zomaar een stroom die verwaarloosd kan worden.

Onderzoek van Seiter & Horwath (1999) heeft aangetoond dat in een agroforestry systeem met groene els en maïs de N aanwezig in boomwortels sneller wordt overgedragen aan nabijge planten dan N in bladval. Voor deze snelle distributie kunnen verschillende mechanismen verantwoordelijk zijn, waaronder netwerken van mycorrhizae die nutriënten tussen planten kunnen vervoeren. In dit onderzoek (Seiter & Horwath. 1999) is aangetoond dat de N input uit wortels voornamelijk groot is na een forse snoei of kap. Dit komt doordat bomen hun wortelhoeveelheid in balans brengen met de overgebleven bovengrondse biomassa, en overtollige wortels afsterven, waarbij N vrijkomt. Deze theorie wordt ondersteund door recent onderzoek van Pepe *et al.* (2018). Hierbij bleken celmembranen van plantenwortels meer doorlatend te worden na verwijdering van de bovengrondse delen, waardoor voedingsstoffen als stikstof en fosfor versneld naar mycorrhizae worden afgevoerd en van daaruit beschikbaar worden voor door deze schimmels gekoloniseerde gewassen.

Tegelijkertijd is dit iets om rekening mee te houden bij het snoeien of kappen van bomen, waarbij een grote hoeveelheid N beschikbaar komt uit boomwortels, die ook gevoelig kan zijn voor uitspoeling (Boxman. 2007). Ook het mycorrhizae netwerk zal dan afsterven. Het kan dus lonend zijn om de bomenstroken in akkers nooit in hun geheel te kappen, maar selectief en met heraanplant, om bodem, bodemleven en bodem-gebonden stikstof stabiel te houden.

3.3 N opslag in het systeem: N opslag in biomassa en bodem

Door het integreren van bomen in een teeltsysteem kan er naast koolstof (C) ook stikstof (N) opgeslagen worden in zowel de bodem als in de biomassa van een boom. Beide effecten worden hieronder verder toegelicht.

3.3.1 N opslag in de bodem

Landbouwsystemen met (gedeeltelijk) volgroeide bomen zorgen tijdens hun bestaan voor een toenemende hoeveelheid bodem-gebonden organisch materiaal. Dit materiaal bestaat voornamelijk uit humus deeltjes, met als hoofdbestanddeel koolstof, vastgelegd uit atmosferisch CO₂. Deze humus deeltjes kunnen nutriënten, waaronder stikstof, binden in meer en minder stabiele verbindingen. Er is dus een koppeling tussen de hoeveelheid koolstof en de hoeveelheid stikstof in de bodem.

Recent Belgisch onderzoek met rijen populieren in grasland (Pardon *et al.* 2017), laat zien dat de hoeveelheid bodem-gebonden stikstof stijgt in een landbouwsysteem met bomen. In de directe nabijheid van een boom was de concentratie het hoogst en deze neemt af tot ongeveer 30 meter van de bomenrij, waar deze vergelijkbaar is met een perceel zonder bomen. In totaal kan in deze 30 meter brede zone de hoeveelheid stikstof in de bodem met zo'n 10-15% toenemen, over een periode van 20-30 jaar. Er wordt verondersteld dat dit komt door verhoogde N inputs via bladval en wortelresten aan de ene kant, en verlaagde N outputs door verminderde gewasopbrengst en uitspoeling (Pardon *et al.* 2017). Beide stoffen, stikstof en vastgelegd atmosferisch koolstof, blijven in dezelfde verhouding aanwezig (in dit geval 1:10, zie ook Tabel 1).

Tabel 1 De hoeveelheid bodem nutriënten met en zonder de aanwezigheid van bomen (*Populus*). SOC= Soil Organic Carbon: Bodem Gebonden Koolstof. (Uit: Pardon et al. 2017)

Stof/Nutriënt	30 meter zone (2-30m van bomenrij) (kg)	Controleperceel (zonder bomen) (kg)	Vershil (kg)
SOC	45072	39772	5300
N	4446	3890	556
K	758	650	108
Mg	659	614	45
P	738	652	86
Na	63	47	16

Tevens suggereert het onderzoek (Pardon et al. 2017) een positief verband tussen de hoogte van de boom en de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem. Hoe groter de boom, hoe hoger de concentratie daarvan is in de 30 meter zone. Jonge aanplant heeft nog niet of nauwelijks invloed op de organische stof in de bodem.

Ook een minimale bodembewerking in en nabij de bomenrij kan bijdragen aan de accumulatie van organische stof en stikstof in de bodem (Hoek et al. 2019). Daarnaast bevordert het intact laten van de bodem de groei van mycorrhizae schimmels, waar vrijwel alle bomen, planten en gewassen mee in symbiose leven. Deze schimmels zijn in staat om planten en bomen van nutriënten als stikstof te voorzien, vooral in de wat armere gronden. Ook spelen zij een rol in het verminderen van (de vatbaarheid voor) ziekten en stress bij planten (Harrier & Watson 2004; Horton et al. 2015; Goss et al. 2017; Brigido et al. 2017; Brito et al. 2018). De nutriëntenvoorziening door mycorrhizae kan in potentie de benodigde mestgift omlaag brengen (Liu et al. 2000). Tot slot spelen mycorrhizae ook een rol bij de accumulatie van organisch materiaal in bodems, door de continue aanwas van afgestorven mycelia (Ekblad et al. 2013).

Seiter et al. (1999) kwamen tot vergelijkbare resultaten als Pardon et al. (2017), wat betreft de accumulatie van organische stof, ditmaal in systemen met rode els (*Alnus rubra*) en mais. De door Seiter et al. (1999) gevonden verschillen in toename van N in de bodem waren echter kleiner dan bij Pardon et al. (2017). Het strooisel en bladafval van gesnoeide elzen droegen, zowel binnen als net buiten de bomenrij, bij aan een hogere concentraties van bacteriën en schimmels, welke bijdragen aan het voor planten vrijkomen van de aanwezige nutriënten.

Kortom, er is een verwachte opbouw van organische stof rondom bomen, waardoor er ook een verwachte toename is in organische N in de bodem.

Opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse situatie

Gezien het verband tussen de accumulatie van organisch gebonden C en organisch gebonden N, en de politiek-maatschappelijke zeer grote relevantie van beide vraagstukken, is het voor beleidsmakers lonend hierbij stil te staan. Opgemerkt moet worden dat de factoren en mechanismen betrokken bij vastlegging van deze stoffen in de bodem complex zijn en bovenstaand onderzoek (Pardon et al. 2017) zeker niet een-op-een is over te nemen voor ieder willekeurig terrein. Toch zijn beide vraagstukken, onder bepaalde omstandigheden wellicht met elkaar te combineren in de zoektocht naar oplossingen. Zeker wanneer men zoekt naar duurzame en natuurlijke wijzen van opslag.

3.3.2 N opslag in biomassa

In agroforestry systemen nemen bomen aanwezige stikstof op in hun levende biomassa voor langere tijd. Met name de houtige biomassa, in de vorm van stam en takken, zijn hier relevant, omdat dit in tegenstelling tot het blad, langere tijd opgeslagen blijft. De hoeveelheid stikstof in de boom vormt een percentage van de levende biomassa en doordat de levende biomassa jaarlijks toeneemt, doet de hoeveelheid N dat ook. Voor de stam en takken van berken (*Betula*) bedraagt het N percentage bijvoorbeeld 0,2-0,4% van het droge totaalgewicht. De totale biomassa van een boom is gerelateerd aan de diameter van de stam. De volgende formule kan voor de bepaling daarvan gebruikt worden: Biomassa totaal (kg) = 0,00029 x diameter(mm)^{2,50038} (Mol & Bolhuis. 2013). Rademacher (2005), komt

voor eiken, beuken, dennen en sparren op N gehalten die variëren van 0,20-0,28% van het totaalgewicht.

Om te kijken naar de N opslag in biomassa op de lange termijn moet de bladbiomassa niet meegenomen worden. Mol & Bolhuis (2013) geven ook hiervoor een formule: Bladbiomassa (kg) = $0,00009 \times \text{diameter}(\text{mm})^{1,47663}$.

Rekenvoorbeeld

Een boer heeft een perceel als agroforestry in gebruik. Hierop groeien 40 stuks walnotenbomen met een gemiddelde diameter van 200mm. We gaan er in dit voorbeeld vanuit dat walnotenbomen een vergelijkbare hoeveelheid stikstof bevatten als de genoemde soorten (0,2%). Wanneer hij nu de totale hoeveelheid opgeslagen stikstof in de houtige biomassa wil weten kan hij de volgende rekensom maken: $40 \times \text{biomassa totaal} - \text{bladbiomassa} = 40 \times (0,00029 \times 200^{2,50038} - 0,00009 \times 200^{1,47663}) = 6566 \text{ kg}$. Hiervan bestaat ongeveer 0,2% uit stikstof, en dat geeft dan $6566 \times 0,002 = 13,1 \text{ kg N/ha}$.

Bomen kunnen er dus toe bijdragen dat er meer N in het systeem wordt opgeslagen (maar dit heeft een limiet en bij vernietiging van het systeem zal het ook weer vrijkomen).

3.4 N afvang en depositie uit de atmosfeer

Bomenrijen en landschapselementen kunnen invloed hebben op de N depositie en N opname uit de lucht. Voor de stikstofdynamiek onderscheiden we hierin drie voorname stromen. Qua bemestende waarde zullen deze stromen geen groot effect hebben, maar voor het verbeteren van de luchtkwaliteit mogelijk wel.

3.4.1 Effect op N depositie

Ten eerste kunnen (hoge) landschapselementen de luchtstroom afremmen, waardoor er een hogere depositie kan plaatsvinden in het gebied achter de bomen(rij). De N depositie in Nederland bestaat voor twee derde uit NH_3 en NH_4 (NH_y), en voor één derde uit stikstofoxiden (NO_x). Volgens modelberekeningen van het RIVM is er in Nederland een hogere N depositie in bossen dan in akkerbouw, met een groter verschil voor NO_x dan voor NH_y depositie (CBS. 2021). Kijkend naar de verschillen van totale N depositie, is de depositie in een loofbos ruim 20% hoger dan in een akkerbouwsysteem. Het verschil tussen vaste gewassen en akkerbouw is ongeveer 7% (CBS. 2021). Agroforestry systemen zullen ook een zeker effect hebben op de N depositie, zeker naarmate de bomen groter worden en dus meer invloed hebben op de luchtstromen. Om dit effect te vergroten en andere nadelige effecten van de wind te verkleinen, kunnen de bomenrijen haaks op de meest voorkomende windrichting geplaatst worden.

3.4.2 Directe N afvang

Ten tweede kan de vegetatie direct stofdeeltjes afvangen, doordat de deeltjes onderschept worden uit de lucht en neerslaan op de vegetatie. Deze deeltjes blijven dan 'plakken' op de vegetatie en kunnen later via neerslag afstromen naar de bodem (Wesseling et al. 2011). Onderzoek uit Canada naar dit effect in een agroforestry systeem met een hoge boomedichtheid liet een variërend effect zien van 0-7 kg N/ha/jaar voor verschillende boomsoorten, met een gemiddelde van 2 kg N/ha/jaar (Zhang. 1999). Maar ook in een akkerbouwsysteem zal er enige directe N afvang plaatsvinden op de gewassen. Het totale effect hiervan zal waarschijnlijk sterk verschillen tussen lokale omstandigheden en type agroforestry systeem.

3.4.3 N afvang via gasuitwisseling

Ten derde kan vegetatie, via de huidmondjes van bladeren, stoffen uitwisselen met de atmosfeer via diffusie als er een concentratieverschil is tussen de vegetatie en de atmosfeer (Wesseling et al. 2011). Voorbeelden van zulke stoffen zijn stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3). Als bijvoorbeeld de NH_3

concentratie in de lucht hoger is dan in de bladeren kunnen de bladeren NH₃ opnemen uit de lucht, maar dit werkt ook andersom. In bomen en struiken is deze stofuitwisseling groter dan bij eenjarige gewassen, omdat deze meer bladoppervlak hebben en meer turbulentie veroorzaken doordat ze hoger groeien.

3.4.4 Hoe kan je het beste inzetten op N afvang?

In ruraal gebied zijn voornamelijk de effecten van bomen en landschapselementen op de NH₃ concentratie onderzocht. De effecten hiervan zijn positief indien de landschapselementen rondom NH₃ uitstootbronnen (bijv. stallen) geplaatst worden, en in mindere mate ook indien de landschapselementen als een soort buffer rondom kwetsbare habitats (bijv. Natura 2000-gebieden) geplaatst worden. Het gaat hierbij om NH₃ reducties van rond de 10-20% (Bealey et al. 2015; Brusselman et al. 2016; Kros et al. 2015). Hierbij gaat het echter om landschapselementen die specifiek voor dit doel ontworpen en aangelegd/aangeplant worden.

Uit modelberekeningen van Kros et al. (2015) blijkt ook dat het algemeen verruwen van het landschap NH₃ kan afvangen. Dit zou betekenen dat een verhoogd aandeel bomen in het landschap door agroforestry ook NH₃ kan afvangen en de luchtkwaliteit kan bevorderen.

Bij het inzetten van agroforestry voor N afvang en luchtfiltering kan er bij het systeemontwerp rekening gehouden worden met de volgende aspecten (Brusselman et al. 2016):

- Fysieke afmetingen van bomenrijen: hogere en bredere vegetatie zal grotere effecten hebben
- Optische porositeit: een zekere luchtdoorstroming bevordert de turbulentie en opname
- Bladoppervlak en bladstructuur: grotere en ruwere bladeren kunnen meer afvangen

Opmerkingen ten aanzien van de Zeeuwse situatie

Zeeland heeft een open landschap, met veel akkerbouw en wateroppervlak, gecombineerd met soms hoge windsnelheden vanaf zee. Er kan daarom verwacht worden dat het plaatsen van bomenrijen, bijvoorbeeld in een agroforestry systeem, een relatief groot effect zal hebben op de luchtstroom en de luchtkwaliteit. Ook de fruitteelt in het Zeeuwse landschap zal hieraan bijdragen, doordat dit al een 'ruwer' landschap geeft dan akkerbouw. Aangezien ZW (zuidwest) de meest voorkomende windrichting is, kunnen de bomenrijen voor het grootste effect op de luchtstroom het beste haaks op deze windrichting geplaatst worden (NW – ZO oriëntatie). Maar ook een NZ (noord-zuid) oriëntatie, wat qua schaduwwerking op het éénjarige gewas over het algemeen het voordeligst lijkt, zal al een positief effect hebben.

Voor het verbeteren van de luchtkwaliteit rondom Natura 2000-gebieden zouden bufferzones geplaatst kunnen worden. Idealiter aan de zijde van de meest voorkomende windrichting. Gezien de meeste Natura 2000-gebieden in Zeeland rond het kustgebied liggen met wind vanaf zee, zal daar echter weinig ruimte zijn om bufferzones aan te leggen. In het geval dat de windrichting overwegend meer noordoostelijk zou worden (wat bijvoorbeeld in april 2020 het geval was, blijkt uit satellietdata), dan is de ruimte geen probleem.

4 Kwantificering stikstofstromen in voorbeeldsysteem met walnoot

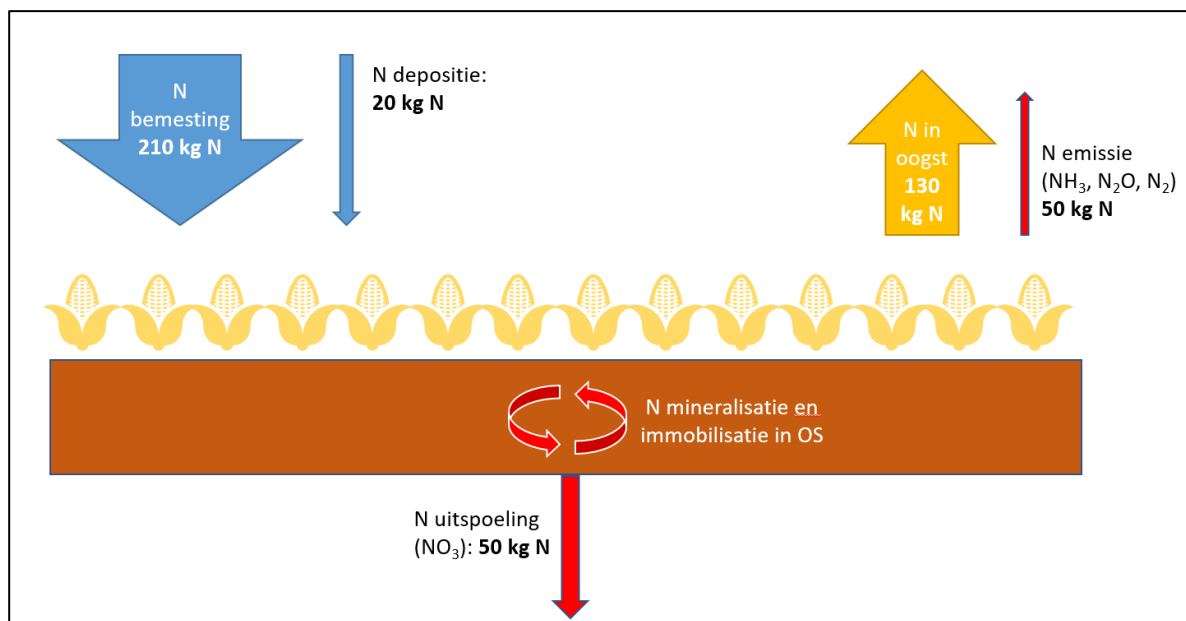
Om verder inzicht te geven in de grootte van de effecten van agroforestry op de stikstofstromen is getracht dit te kwantificeren voor een voorbeeldsysteem. Hierbij is er een vergelijking gemaakt tussen een monocultuur akkerbouwrotatie met wintertarwe, suikerbiet, zaaiui en consumptie aardappel en een agroforestry systeem met walnotenbomen en dezelfde akkerbouwgewassen. Belangrijk hierbij is om op te merken dat het geen exacte kwantificering betreft, maar een indicatie van orde van grootte.

Wintertarwe, aardappels, suikerbiet en ui zijn veel geteelde gewassen in Zeeland, met hierbij nog eventuele groenbemesters. In deze kwantificering is uitgegaan van een gangbare teelt met standaardbemesting. In het agroforestry systeem zijn walnotenbomen toegevoegd. Walnoten zijn een interessant gewas in een agroforestry systeem omdat de notenoogst en eventuele houtoogst economisch ook interessant is. Voor het ontwerp is uitgegaan van een afstand van 25m tussen de bomenrijen en 10m tussen de bomen in de rij, zoals beschreven in Nelissen et al. (2017), wat leidt tot een boomedichtheid van 40 bomen per hectare. (NB! Of dit een optimale configuratie is, is onbekend en mede-afhankelijk van de doelen en wensen van de ondernemer). Daarnaast is uitgegaan van volwassen walnotenbomen met een volwaardige productie.

Op basis van deze uitgangspunten worden eerst de globale stikstofstromen in de monocultuur akkerbouwrotatie weergegeven en vervolgens de stikstofstromen in een agroforestry systeem met walnotenbomen.

4.1 Stikstofstromen in monocultuur akkerbouw

In Figuur 3 wordt een indicatie van de grootte van de jaarlijkse stikstofstromen in een monocultuur akkerbouw gegeven. De toelichting en bronnen voor de gekozen waardes is te vinden in Tabel 2. Uit deze kwantificering is te zien dat de N bemesting en export in oogst veruit de grootste N input en N output vormen. Er is in dit systeem een verwacht N overschot van 100 kg N, wat tot N verliezen in de vorm van atmosferische emissies (50 kg N) en uitspoeling (50 kg N) leidt.



Figuur 3 *Indicatieve kwantificering van globale stikstofstromen in een monocultuur akkerbouw in kg N per hectare per jaar.*

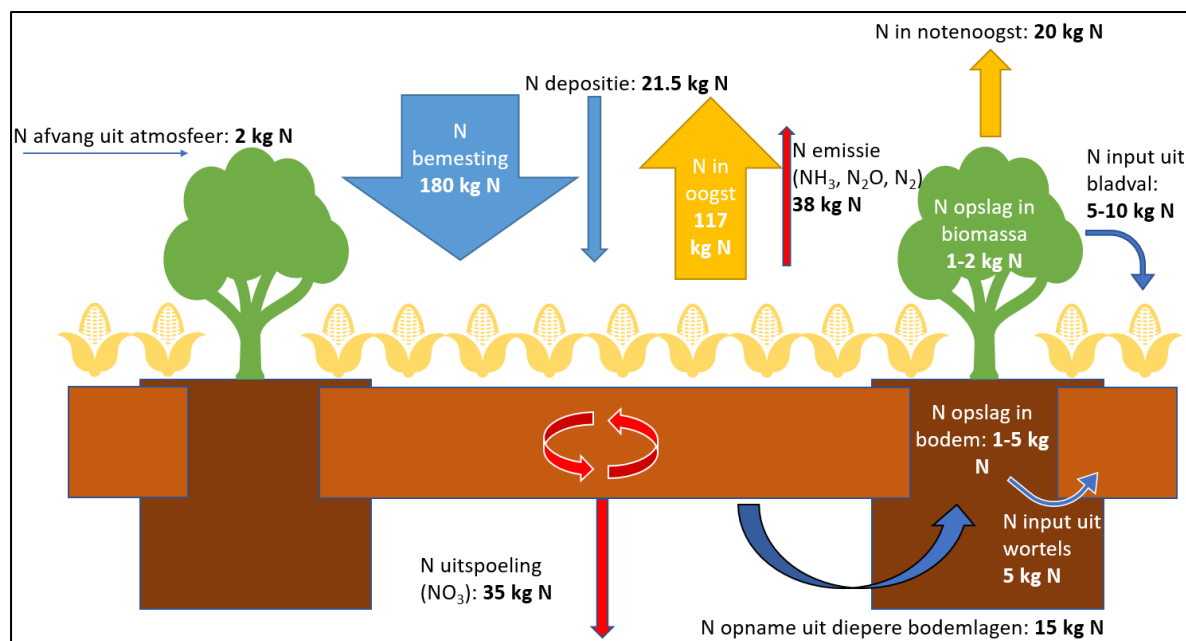
Tabel 2 Toelichting keuzes en aannames, en eventuele bronnen bij de waarden van de stikstofstromen zoals weergegeven in Figuur 3.

Stikstofstroom	Grootte (kg N)	Toelichting	Bronnen
N bemesting	210	Gemiddelde N-gift voor de 4 akkerbouwgewassen in gangbare teelt op klei.	Handboek Bodem & Bemesting. 2021; KWIN-AGV. 2018
N depositie	20	Gemiddelde N depositie voor de provincie Zeeland.	TNO. 2019
N in oogst akkerbouw	130	Op basis van gemiddelde gewasopbrengsten en N in ZW Nederland en een gemiddelde N inhoud van de gewassen (stro in tarwe niet afgevoerd).	KWIN-AGV. 2018
N emissies	50	Schatting op basis van praktijkinzichten, op basis van goede praktijk en bodemtype klei.	
N uitspoeling	50	Schatting op basis van praktijkinzichten, op basis van goede praktijk en bodemtype klei.	
Bodem N balans	0	Uitgaande van een stabiele bodem organische stof is er geen netto N mineralisatie of immobilisatie.	

4.2 Stikstofstromen in agroforestry systeem met walnotenbomen

In Figuur 4 wordt een indicatie van de grootte van de jaarlijkse stikstofstromen in een voorbeeldsysteem met walnoot en de gangbare akkerbouwgewassen weergegeven. De toelichting en bronnen voor de vertoonde waarden staan in Tabel 3. Hieruit is op te maken dat de N bemesting en export in oogst nog steeds de grootste N input en output vormen. De N in akkerbouw oogst (117 kg N) en daarbij behorende bemesting (180 kg N) zijn echter wat lager geschat vanwege een verminderd teeltoppervlak door de toevoeging van de walnotenbomen en mogelijke schaduwwerking. De walnotenbomen zorgen op hun beurt wel weer voor extra N export in de vorm van notenoogst (20 kg N).

Verder lijkt het grootste effect van de toevoeging van de walnotenbomen de N opname uit diepere bodemlagen te zijn, die enerzijds de N uitspoeling reduceert (-30%) en tegelijkertijd een extra N input (15 kg N) aan het systeem levert. De N opname door de boom leidt vervolgens tot een cyclische N input via bladval (5-10 kg N) en wortelresten (5 kg N). Een klein N effect wordt geschat door de N opslag in



Figuur 4 Indicatieve kwantificering van globale stikstofstromen in een agroforestry systeem met walnoot en gangbare akkerbouwgewassen in kg N per hectare per jaar.

de bodem (1-5 kg N) en in mindere mate de N opslag in de houtige biomassa (1-2 kg N). Ook nemen de N emissies naar de atmosfeer naar schatting met 25% af door een hogere N efficiëntie in het systeem. Tot slot, lijkt er een iets hogere N input via een hogere N depositie (+1.5 kg) en de afvang van atmosferische N (2 kg N).

In deze kwantificering wordt met een lagere N input, een vergelijkbare hoeveelheid N geoogst uit het systeem. Dit wordt veroorzaakt door een verwachte verbetering van de N efficiëntie en kringloop binnen het systeem, wat tevens kan leiden tot lagere N verliezen naar de omgeving. Als totaal is dus de N efficiëntie van een agroforestry systeem hoger, waardoor er ook minder N kunstmest gestrooid, en geproduceerd hoeft te worden, hetgeen ook energiewinst en weer minder N emissies geeft.

Tabel 3 Toelichting keuzes en aannames, en eventuele bronnen bij de waardes van de stikstofstromen zoals weergegeven in Figuur 4.

Stikstofstroom	Grootte (kg N)	Verskil t.o.v. monocultuur	Toelichting	Bronnen
N bemesting	180	-14%	Lager door een lagere ingeschatte akkerbouw oogst en verwacht efficiënter nutriëntengebruik.	Sollen-Norrlin et al. 2020
N depositie	21.5	+7%	Aangenomen toename van 7%, vergelijkbaar met de data voor vaste gewassen van CBS.	CBS. 2021
N in oogst akkerbouw	117	-10%	Geschatte 10% lagere opbrengst, vanwege verminderd oppervlak voor akkerbouwgewassen in de bomenrijen en evt. schaduweffect.	
N in notenoogst	20		Op basis van een walnotenoogst van 1.5 t/ha van 40 bomen en een N inhoud van 13 kg N per ton walnoten.	Beijers. 2018 Pope & Brown. 2015
N emissies	38	-25%	Een geschatte 25% verlaging door efficiëntere N benutting bodem, complexere bodemprocessen en onderzoek van Wolz et al. (2018). <i>Dit is een onzekere aanname.</i>	Sollen-Norrlin et al. 2020 Wolz et al. 2018
N uitspoeling	35	-30%	Een daling van 30% vanwege verwachte N opname uit diepere bodemlagen en efficiënter N gebruik, uitgaande van volwassen bomen.	Sollen-Norrlin et al. 2020 Wolz et al. 2018
N opname diepere bodemlagen	15		Gekoppeld aan de verminderde N uitspoeling (-15 kg N)	
N input bladval	5-10		Op basis van volwassen bomen. Onderzoek van Zhang (1999) heeft het over een N input uit bladval van 2-15 kg N/ha. University of California over N in bladval walnoten van +/- 22 kg N/ha. Beide gevallen met een hogere boomdichtheid, dus hier een wat lagere schatting.	University of California. 2018 Zhang. 1999
N input wortels	5		Weinig specifiek onderzoek, maar het lijkt wel een significante stroom, zeker als er veel gesnoeid wordt. Dit is een schatting waarbij het vergelijkbaar met N input uit bladval is.	
N opslag in bodem rondom bomenrij	1-5		Ruwe schatting, erg afhankelijk van de omstandigheden en management, er zal op termijn een nieuw evenwicht ontstaan.	
N opslag in boom biomassa	1-2		Schatting op basis van de berekening in Sectie 3.3.2. Afhankelijk van groeisnelheid.	Mol & Bolhuis. 2013 Rademacher. 2005
N afvang uit atmosfeer	2		Gemiddelde directe afvang volgens Zhang (1999) is 2 kg N, maar bij een hogere boomdichtheid. Mogelijk ook nog wat N opname via gasuitwisseling, dus geschat op 2 kg N.	Wesseling et al. 2011 Zhang. 1999

5 Conclusie & Aanbevelingen

5.1 Conclusie

Op basis van de gevonden literatuur¹ zijn de effecten van agroforestry op de stikstofdynamiek in een teeltsysteem beschreven en deze kunnen worden gecategoriseerd in de volgende vier punten:

1. Efficiëntere N opname, via de opname uit diepere bodemlagen door boomwortels, en N fixatie door stikstoffixerende bomen.
2. De verhoogde omvang van N in de cyclus via de biomassa van bomen, in de vorm van bladval, snoeiafval en wortelresten.
3. De N opslag in het systeem: in de bodem en in de biomassa van de boom. Bomen kunnen er dus toe bijdragen dat er meer N in het systeem wordt opgeslagen (maar dit heeft een limiet en bij vernietiging van het systeem zal het ook weer vrijkomen).
4. De hogere N depositie in gebieden achter bomen(rijen) en afvang van atmosferische stikstof.

De voorzichtige kwantificering van een agroforestry systeem met walnoot en gangbare akkerbouwgewassen laat zien dat agroforestry een betere N kringloop heeft binnen het systeem met lagere N verliezen naar de omgeving. Het grootste N effect lijkt behaald te worden door de N opname van boomwortels uit diepere bodemlagen, wat tegelijkertijd de N uitspoeling iets vermindert.

Ruwweg kan gezegd worden dat het systeem het systeem wat efficiënter met N omgaat, omdat het een beetje extra N uit de lucht haalt en omdat de uitspoelingsverliezen wat lager zijn. Verder zijn er goede kansen dat er wat meer N (en hiermee ook C) in het systeem wordt opgeslagen. De bijdragen zijn niet gigantisch groot. Maar door de potentiële *co benefits* van agroforestry, zoals positieve microklimaat effecten, minder lachgas emissie en energieverbruik, meer biodiversiteit etc., is agroforestry als totaal wel interessant.

De groottes van de genoemde N effecten zijn erg afhankelijk van het soort agroforestry- en teeltsysteem. Dit biedt direct ook perspectief voor de provincie Zeeland om systemen in te richten met het oog op specifieke doeleinden.

Uit deze notitie blijkt dat agroforestry, via verschillende aspecten (nl andere stikstofdynamiek dan die van een akkerbouwsysteem) een bijdrage kan leveren aan de vermindering van ongewenste stikstof emissies naar het milieu. Hiermee kan agroforestry een onderdeel zijn van een totale strategie om de stikstof emissies te beperken, naast bijvoorbeeld precisie bemesting, het laag houden van de voorraad minerale stikstof in de bodem, goede bodemkwaliteit, stikstof efficiënte rassen en goede doorworteling. Daarmee kan deze notitie handvatten bieden voor de Provincie Zeeland om hun beleid rondom agroforestry en stikstofproblematiek in te vullen.

5.2 Aanbevelingen

- Agroforestry kan in bepaalde opzet bijdragen aan de vermindering van ongewenste stikstofemissies naar het milieu. Welke opzet of ontwerp hiervoor het meest geschikt is voor bepaalde situaties in de provincie Zeeland is onderwerp van vervolgonderzoek. Hierbij is een integrale benadering aan te bevelen; kijkend naar zowel naar de stikstofkringloop als naar de *co benefits* (zoals positieve microklimaat effecten, meer koolstofopslag, meer biodiversiteit etc.). De provincie Zeeland zou een eigen agroforestry proeftuin kunnen ontwikkelen, ofwel regionale praktijkexperimenten kunnen opzetten. Voor het ontwerp van Zeeuwse agroforestry systemen kan dan rekening gehouden worden met de unieke Zeeuwse omstandigheden, zoals (zwarte) kleigrond, hoge grondwaterstanden, inmenging van zout water en het open landschap. Idealiter zouden hiermee belangrijke vragen met betrekking tot de N opslag in het systeem (N opslag in biomassa en bodem) onderzocht kunnen worden: hoe groot is de veranderde voorraad door het toevoegen van bomen? Is de maximale voorraad bij agroforestry hoger? Gaat die voorraadvorming sneller? En op welke

wijze kan maximale N opslag en C opslag gerealiseerd worden? Hierbij dient tevens de aanbeveling om te kijken naar mogelijkheden van stimuleringsmaatregelen voor agrarisch ondernemers (bijvoorbeeld aanplantsubsidies), het wegnemen van belemmerende regelgeving en bijvoorbeeld betaling van ecosysteemdiensten (zoals CO₂-opslag en verhoging van biodiversiteit, maar ook van bijvoorbeeld N-fixatie en -afvang). Dit om de adaptatie van agroforestry te doen versnellen, en hiermee de mogelijkheid van bijvoorbeeld monitoring op praktijkbedrijven te vergroten.

- Zoals beschreven in 3.4 zijn er duidelijke aanwijzingen dat het aanbrengen van landschapselementen rondom bronnen van NH₃ uitstoot of het aanleggen van bufferzones rondom kwetsbare natuurgebieden respectievelijk de emissies en de depositie in de natuurgebieden enigszins kan verminderen. Indien hier maximaal op wordt ingezet, zou er mogelijk 10-20% minder depositie bereikt kunnen worden. Welk effect de zgn. alley cropping systemen (zie figuur 1 t/m 3 in paragraaf 3.1) precies zullen hebben valt niet te zeggen. Het algemeen verruwen van het landschap (rondom N2000 gebieden) zorgt al voor het afvangen van enige stikstof. Het grootste effect op N depositie door afremming van de luchtstroom door landschapselementen wordt verwacht indien geplaatst haaks op de meest voorkomende windrichting. Het verdient aanbeveling om hiermee te experimenteren in Zeeland. Een vraag die hierbij onderzocht zou kunnen worden: is het effect van de eerste 50 bomen per ha groter dan bijvoorbeeld de stap van 500 naar 1000 bomen per ha? Agroforestry systemen zouden zo ontworpen kunnen worden dat de stikstof afvang gemaximaliseerd wordt, door rekening te houden met de kenmerken zoals genoemd in Sectie 3.4.4. Een kanttekening hierbij is wel dat het effect bij kleine/jonge bomen miniem zal zijn en dit zeker op korte termijn weinig effect zal hebben. Op langere termijn zal het effect groter zijn, dus dit vergt langjarige experimenten. (Het verminderen van de emissies bij de bron blijft daarnaast uiteraard belangrijk en is vanzelfsprekend een sneller middel om de N depositie in natuurgebieden op korte termijn te verlagen).

¹ De beschreven effecten en kwantificering zijn bepaald op basis van gevonden waarden en bevindingen in de bestudeerde literatuur tijdens deze verkennende studie. Deze informatie staat niet voor altijd vast en kan aangevuld of aangepast worden al naar gelang er nieuwe of extra data beschikbaar komt. Nieuwe of extra data zal helpen om een beter totaalbeeld te kunnen schetsen en de witte vlekken steeds verder in te vullen en te onderbouwen.

Literatuur

- Allen, S. C., Jose, S., Nair, P. K. R., 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.
- Bealey, W. J., Braban, C. F., Theobald, M. R., Famulari, D., Tang, Y. S., Wheat, E., ... & Watterson, D. (2015). Agroforestry Systems for Ammonia Abatement. AC0201 Final Report (Doctoral dissertation, auto-saisine).
- Boxman, A. W. (2007). Bos onder Dak. Langetermijneffecten van stikstofdepositie in bos. *Radboud Universiteit Nijmegen*.
- Brigido, C., van Tuinen, D., Brito, I., Alho, L., Goss, M. J., & Carvalho, M. (2017). Management of the biological diversity of AM fungi by combination of host plant succession and integrity of extraradical mycelium. *Soil Biology and Biochemistry*, 112, 237-247.
- Brito, I., Goss, M. J., Alho, L., Brígido, C., van Tuinen, D., Félix, M. R., & Carvalho, M. (2019). Agronomic management of AMF functional diversity to overcome biotic and abiotic stresses-The role of plant sequence and intact extraradical mycelium. *Fungal Ecology*, 40, 72-81.
- Brusselman E., Beck B., De Campeneere S., Demeyer P., ... & Zwertvaegher I. (2016). Screening van maatregelen die kunnen leiden tot de reductie van ammoniakemissie afkomstig uit de landbouw. ILVO
- CBS. (2021). Stikstofdepositie. <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-stikstof/stikstofdepositie>
- Cole, D.W., M. Rapp. (1981). Elemental cycling in forest ecosystems. In: *Dynamic properties of forest ecosystems*. (Ed. Reichle, D.E.). Cambridge University Press, Cambridge, pp.341-410.
- Ekblad, A., Wallander, H., Godbold, D. L., Cruz, C., Johnson, D., Baldrian, P., ... & Plassard, C. (2013). The production and turnover of extramatrical mycelium of ectomycorrhizal fungi in forest soils: role in carbon cycling. *Plant and Soil*, 366(1), 1-27.
- Goss, M. J., Carvalho, M., & Brito, I. (2017). Functional diversity of mycorrhiza and sustainable agriculture: management to overcome biotic and abiotic stresses. Academic Press.
- Harrier, L.A., & Watson, C.A. (2004). The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest management science*, 60(2), 149-157.
- Hoek, J., van Balen, D., Haagsma, W., van den Berg, W., van Asperen, P., Sukkel, W., ... & Bloem, J. (2019). Bodemindicatoren in BASIS: Identificatie van de belangrijkste biologische en chemische bodemparameters ("bodemindicatoren") in het project BASIS over de periode 2009-2016 (No. WPR-798). Wageningen University & Research, Business unit Open Teelten.
- Kaljee H., (2004). Effecten van vernatting op bomen. *Kwartaalblad voor de kring praktiserende boomverzorgers*.
- 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.
- KWIN-AGV. (2018). Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (Ed. M. van der Voort). *Wageningen University & Research*.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., & Smith, D. L. (2000). Mycorrhizae formation and nutrient uptake of new corn (*Zea mays* L.) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N and P levels. *Plant and Soil*, 221(2), 157-166.
- Luske, B., Vonk, M., & Ansems, E., Van Eekeren, N. (2014). Voederbomen in de landbouw Meer waarde per hectare door multifunctioneel landgebruik. *Louis Bolk Instituut*.
- Mabilde, L. (2014). Evaluatie van biotische en abiotische systeemkenmerken in jonge agroforestry-plantages in Vlaanderen.
- Mol, J. P., & Bolhuis, P. R. (2013). Bepaling hoeveelheid stikstof in berkenopslag op het Fochteloërveen (No. 2380). Alterra, Wageningen-UR.
- Nelissen, V., Van Daele, S., Verdonckt, P., Reheul, D., Pardon, P., Reubens, B. (2017). Projectrapport: Teelttechnische impact agroforestry. *Agroforestry Vlaanderen*.

-
- Nelissen, V., Coussement, T., Pardon, P., Reubens, B. (2018). Projectrapport: Effect van agroforestry op organische stof en nutriënten. *Agroforestry Vlaanderen*.
- Pardon, P., Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., ... & Verheyen, K. (2017). Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 98-111.
- Pepe, A., Giovannetti, M., & Sbrana, C. (2018). Lifespan and functionality of mycorrhizal fungal mycelium are uncoupled from host plant lifespan. *Scientific reports*, 8(1), 1-10.
- Rademacher, P. (2005). Nährelementgehalte in den Kompartimenten wichtiger Wirtschaftsbaumarten und deren Bedeutung für die Reststoffverwertung. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 63(4), 285-296.
- Seiter, S., & Horwath, W. R. (1999). The fate of tree root and pruning nitrogen in a temperate climate alley cropping system determined by tree-injected ¹⁵N. *Biology and fertility of soils*, 30(1), 61-68.
- Seiter, S., Ingham, E. R., & William, R. D. (1999). Dynamics of soil fungal and bacterial biomass in a temperate climate alley cropping system. *Applied Soil Ecology*, 12(2), 139-147.
- Sollen-Norrlin, M., Ghaley, B. B., & Rintoul, N. L. J. (2020). Agroforestry benefits and challenges for adoption in Europe and beyond. *Sustainability*, 12(17), 7001.
- Tallieu, R. (2011). Agroforestry in gematigde streken: modelmatige scenarioanalyses voor opbrengsten en Land Equivalency Ratio's. Masterproef, Universiteit Gent, 83.
- TNO. (2019). Factsheet: emissies en depositie van stikstof in Nederland.
- University of California. (2018). Nitrogen management in nut crops. *Agriculture and natural resources*. <https://ucanr.edu/sites/ciwr/files/318120.pdf>
- Vogt, K.A., Grier, C.C., & Vogt, D.J. (1986). Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and detritus of world forests. *Advanced Ecology*, 63, 303-377.
- Wesseling, J., van der Zee, S., & van Overveld, A. (2011). Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit: Update 2011. RIVM.
- Wolz, K. J., Branham, B. E., & DeLucia, E. H. (2018). Reduced nitrogen losses after conversion of row crop agriculture to alley cropping with mixed fruit and nut trees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 172-181.
- Zhang, P. (1999). Nutrient inputs from trees via throughfall, stemflow and litterfall in an intercropping system. A thesis presented to The Faculty of Graduate Studies of The University of Guelph.

Websites

- Agroforestry Vlaanderen. (2021). Agroforestry en impact op ecosysteemdiensten. <https://www.agroforestryvlaanderen.be/nl/nieuws/agroforestry-en-impact-op-ecosysteemdiensten>
- Beijers, O. (2018). 'Een prima, milieuvriendelijke neventak'. *Nieuwe Oogst*. <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2018/07/25/een-prima-milieuvriendelijke-neventak>
- Handboek Bodem & Bemesting. (2021). *Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgroenteteelt (CBAV)*. www.handboekbodemenbemesting.nl
- Pope, K. & Brown, P. (2015). Walnut nitrogen budgeting critical. *Growing Produce*. <https://www.growingproduce.com/nuts/walnut-nitrogen-budgeting-critical/>
- WUR. (2021). 5 vragen over Agroforestry: bomen en landbouw op één perceel. <https://www.wur.nl/nl/project/5-vragen-over-Agroforestry-bomen-en-landbouw-op-een-perceel.htm>

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

Rapport WPR-OT 897

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
