



9

Factsheet Agroforestry

Hoe kan agroforestry bijdragen aan
klimaatadaptatie van de landbouw?



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Over deze factsheet

Klimaatverandering zorgt voor uitdagingen in de landbouw waardoor klimaatadaptatie een belangrijke thema is geworden. Met klimaatadaptatie wordt bedoeld het aanpassen aan klimaatveranderingen, maar ook het benutten van kansen en beperken van schade door de veranderende klimaatcondities. Deze factsheet schetst welke rol agroforestry-systemen kunnen hebben in het verhogen van de veerkracht van productiesystemen tegen klimaatverandering. Veel van de cijfers in deze factsheet zijn gehaald uit onderzoek met een klimaat anders dan het huidige Nederlandse klimaat. Er is geprobeerd om de cijfers zo relevant mogelijk te maken voor agroforestry in Nederland, en om de onzekerheden aan te geven waar die aanwezig zijn. De prestaties van agroforestry-systemen verschillen van systeemontwerp tot systeemontwerp en de invloed van diverse aspecten, zoals locatie, grondsoort en boomsoort, zijn nog niet goed in beeld gebracht¹. Een doel voor de toekomst is om meer inzicht te krijgen in de invloed van deze aspecten, zodat gericht ontworpen kan worden om specifieke effecten te bewerkstelligen die bijdragen aan klimaatadaptatie.

Wat is agroforestry?

We spreken over Agroforestry als houtige, meerjarige gewassen (bomen en struiken) bewust worden gemengd met akkerbouw, groenteteelt of grasland, op hetzelfde perceel. De houtige gewassen kunnen voor meerdere doeleinden geplant worden, bijvoorbeeld voor de productie van fruit, noten of hout. Doordat er voor meerdere doeleinden geplant kan worden, bestaan er ook veel verschillende agroforestry-systemen: eigenlijk zijn de mogelijke combinaties oneindig. Bomen of houtige gewassen kunnen bijvoorbeeld in brede of smalle stroken geplant worden tussen stroken verschillende akkerbouw- of groentegewassen. Een andere vorm van agroforestry is bijvoorbeeld veeteelt met buitenloop voor de dieren onder verspreid geplaatste bomen of struiken.

Wat te verwachten van de klimaatverandering?

Met "klimaat" wordt het gemiddelde weer over een periode van 30 jaar bedoeld. Het klimaat wordt vooral bepaald temperatuur, verdamping en neerslag. De verwachting voor Nederland is dat de zomers rond 2050 tot 2,3 °C warmer zijn dan in de periode 1981-2010. De verhoogde temperaturen

leiden tot meer verdamping, met een verhoogde kans op droogte. We krijgen ook meer te maken met lokale plensbuien in de zomer in plaats van langdurige neerslag^{2|3}. Door het warmere klimaat worden in sommige teelten hogere gewasopbrengsten verwacht, maar voor teelten die gevoelig zijn voor droogte en hitte, en als er bovendien geen mogelijkheid is voor beregening, kan



dit een negatief effect hebben op de opbrengsten. Door de droogte, hitte en lokale plensbuien komt de oogstzekerheid meer onder druk te staan. Daarnaast worden verergerde problemen met (nieuwe) plagen en ziekten verwacht. Samengevat: de klimaatuitdagingen waar we ons op moeten voorbereiden zijn wateroverlast, hittegolven, watertekort en veranderde omvang van ziekten en plagen.

Wat kan agroforestry betekenen voor klimaatadaptatie?

De potentie van agroforestry voor klimaatadaptatie is een beperkt onderzocht onderwerp, vooral in het gematigde klimaat. De effecten van bossen en windhagen op verschillende aspecten die relevant zijn voor klimaatadaptatie zijn daarentegen goed bekend, en daaruit kan veel kennis gehaald worden. Het "microklimaat" betreft de temperatuur- en vochtrelaties gezien op de schaal van enkele meters tot tientallen kilometers⁴¹. Bomen hebben een sterk bufferend effect op het microklimaat, daarmee wordt bedoeld dat ze de extremen in temperatuur, vocht en wind dempen. Bossen hebben een belangrijk afkoelend effect en kunnen bij hevige neerslag een belangrijke rol spelen in waterinfiltratie en -opslag en zodoende wateroverlast tegengaan in een landschap. Bomen en bossen zorgen voor wolkenvorming en meer lokale neerslag of neerslag in windwaartse richting. Dit kan positief zijn in geval van een droger klimaat⁵¹. De verwachting is dat bomen in een agroforestry-systeem op dezelfde wijze een effect uitoefenen op het microklimaat. De uitdaging in het uitzetten van de potentie van agroforestry voor klimaatadaptatie op het niveau van een landbouwperceel zit in het feit dat er een gradiënt is met verschillende effecten op verschillende afstanden van de bomen. Daarnaast kunnen effecten van bomen variëren al naar gelang de lokale weersomstandigheden, het agroforestry-ontwerp en de landschappelijke inpassing. De prestatie van een agroforestry-systeem is dus erg afhankelijk van specifieke en soms tijdelijke omstandigheden. Daarom ligt de focus van deze factsheet vooral op de potentie van agroforestry en zijn de gegevens niet te beschouwen als vuistgetallen voor een "gemiddeld" systeem.

De effecten van bomen op hun omgeving die waardevol kunnen zijn voor klimaatadaptatie kunnen samengevat worden als:

1. Verbeterde waterinfiltratie
2. Verbeterde waterretentie
3. Afkoeling
4. Windremming en schaduw → Minder (gewas) verdamping
5. Verhoogde waterbeschikbaarheid

Het effect **dichtbij de bomen**, tot ca. 1,5 keer de boomhoogte^{61/71} wordt vooral beïnvloed door schaduwwerking van de boomkroon, bladval en beworteling, met grote effecten op temperatuur en bodemvocht. Voor klimaatadaptatie is dit vooral van belang bij wateroverlast en hittestress. Er is in deze zone ook vaak sprake van competitie tussen boom en gewas voor licht, water en nutriënten.

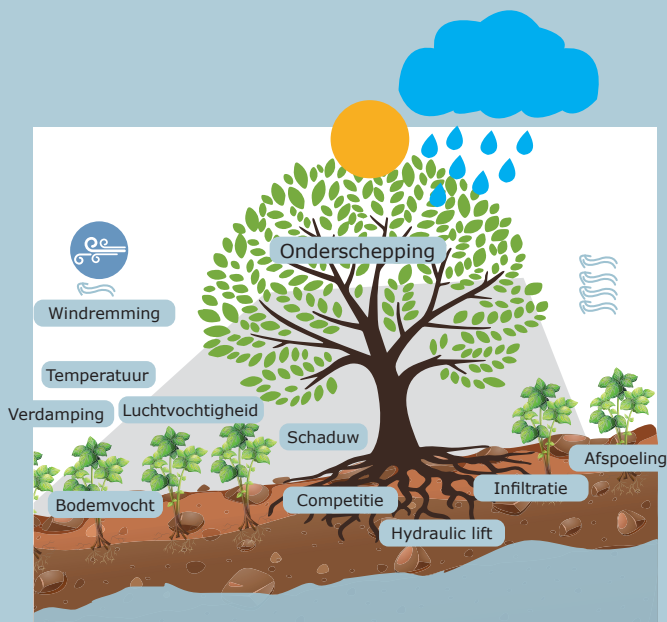
Het effect **op afstand van de bomen**, tot ca. 10 keer de boomhoogte, wordt vooral beïnvloed door effecten op het microklimaat, zoals temperatuurverlaging en windremming, met gevolgen voor de vochttoestand⁶¹. Voor klimaatadaptatie is dit vooral van belang bij hittestress en droogte. In deze, veel grotere zone, kunnen er positieve effecten van de bomen op het gewas optreden.

Wateroverlast

De potentie van agroforestry om wateroverlast te beperken komt met name tot stand via positieve effecten op de bodemstructuur, maar ook zou de verhoogde neerslagonderschepping en verdamping van bomen een kleine positieve bijdrage kunnen leveren.

Bodemstructuur

Bomen zorgen voor een verbeterde waterinfiltratie en -retentie, enerzijds door de directe remming en onderschepping van regenwater door de boomkroon en anderzijds door een positief effect op de bodemstructuur⁸¹. Onderzoek toont dat de waterinfiltratie vele malen sneller kan verlopen in een boomstrook dan in een gewas¹¹. Water stroomt namelijk gemakkelijk langs de boomwortels omlaag in het bodemprofiel. Ook worden poriën van oude wortelgangen hiervoor benut. De extra organische stof van wortels en bladval draagt ook bij aan een verbeterde bodemstructuur en meer wateropslag⁹¹. De bodem onder bomen is om deze redenen minder verdicht, heeft een verbeterde stabiliteit van de bodem-aggregaten en een hoge porositeit met goede potentie voor wateropslag¹⁰¹.



Figuur 1 | Overzicht van aspecten waar een boom invloed op heeft. Gebaseerd op Jacobs et al., 2022.

Neerslagonderschepping

Bomen verminderen de hoeveelheid neerslag die de bodem bereikt en remmen ook de neerslag waardoor het risico op bodemerosie en afspoeling sterk verlaagd is^{11|12|13|14|}. Afhankelijk van de boom- en bladstructuur, kan één laag loofboomkroon tot wel 20% van de neerslag in een jaar onderscheppen^{15|16|}. Bij een lichte bui is dit percentage hoger dan bij een hevige bui, en in de bladrijke periode is de onderschepping ongeveer de helft^{17|}.

Korte samenvatting

De verbeterde waterinfiltratie en -retentie, in combinatie met neerslagonderschepping, kan een positieve bijdrage leveren bij wateroverlast^{18|}. Echter, door de korte radius van deze effecten blijft de waarde waarschijnlijk beperkt bij lage boomedichtheden, zeker op een vlak perceel. Op landschapsniveau, vooral in hellende gebieden, kunnen bomen een belangrijke buffer zijn tegen wateroverlast door verbeterde infiltratie, wateropslag en het remmen van de waterstromen.

Richtlijnen voor adaptatie tegen wateroverlast:

- Hoge boomedichtheden
- Bladval van bomen laten liggen
- Zaaien/planten van een onderbegroeiing
- Boomstroken plaatsen langs hoogtelijnen
- Evt. boomsoorten kiezen aangepast op natte omstandigheden of met een hoge verdamping (bv. els of wilg)
- Boomsoorten kiezen met een dichte kroon, veel bladlagen en kleine bladeren

Hittestress

De potentie van agroforestry om hittestress tegen te gaan in gewassen en bij dieren komt deels door de schaduw van bomen, wat zorgt voor een temperatuurverlaging omdat minder straling het gewas en bodem bereikt. Dit zorgt voor verminderde opwarming en verdamping van gewas en bodem en heeft daardoor een effect op de bodem- en luchtvochtigheid. Het effect op temperatuur kan ook strekken buiten de schaduwzone. Daarnaast heeft de verdamping van de bomen zelf een afkoelend effect.

Schaduw

Schaduwwerking van bomen is niet constant en verandert in de loop van de dag, in de loop van het jaar en verschilt per kant van de boom. De schaduw onder een dichte boomkroon geeft gemiddeld een globale lichtreductie van 50-80%^{19|}. Afhankelijk van de aanplant (boomsoort, plantdichtheid) is de lichtreductie dichtbij de boomstrook in agroforestry-systemen iets minder, bijvoorbeeld 10-42%^{1|} en in de winter (zonder blad) is de lichtreductie gehalveerd^{20|}. De lichtreductie zorgt voor een gemiddeld 1-2°C lagere temperatuur in de schaduw van de bomen^{21|22|}. Bij een hittegolf kan het zelfs 5°C koeler zijn onder een boom. Hoe hoger de temperatuur op een dag is, hoe sterker het verkoelende effect van bomen is^{23|}. Bomen zorgen namelijk voor kleinere temperatuurfluctuaties, met lagere temperaturen overdag, en soms hogere temperaturen 's nachts^{1|}. Dit kan in sommige gevallen zelfs zorgen voor een langer groeiseizoen van meer dan één week^{1|23|}. De schaduw van de bomen zorgt ervoor dat het bodemvochtvolume in omvang 3-10% hoger kan zijn in deze zone^{24|25|}. Daarnaast kan de schaduw zorgen voor directe bescherming tegen verbranding van gewasbladeren door de zon.

Dieren kunnen ook profiteren van de schaduw van de bomen. Op warme dagen kunnen dieren zich beschermen tegen de zon in de schaduw van bomen, wat een positief effect kan hebben op de productie^{26|}.

De schaduwworps van bomen zorgt over het algemeen in de zone dichtbij de bomen voor sterk verminderde gewasopbrengsten en is de meest limiterende factor voor de groei van gewassen in agroforestry op onze breedtegraad^{27|28|29|}. Wintergewassen, granen en weilanden tonen minder opbrengstderiving dan zomergewassen^{30|34|}. Bij droogte in Zuid-Europa is gevonden dat de opbrengst juist hoger kan zijn in het gebied met schaduwworps en in het gebied met invloed van de bomen ten opzichte van de opbrengst in een open veld^{32|33|34|}. De vraag is of dit bij een warmer klimaat ook hier in Nederland een relevant aspect kan zijn voor klimaatadaptatie.

Afkoeling

Naast de schaduwwerking, verdampen bomen veel water, wat ook een verkoelend effect heeft^{5|}. Het proces van verdamping kost namelijk energie en dit zorgt voor afkoeling. Een enkele boom kan een koelvermogen hebben vergelijkbaar met twee gemiddelde airconditioning installaties voor huishoudens. Hierdoor kan al een lage dichtheid van bomen op het landschapsniveau een aanzienlijk effect hebben op de temperatuur in dat landschap^{35|}.



Korte samenvatting

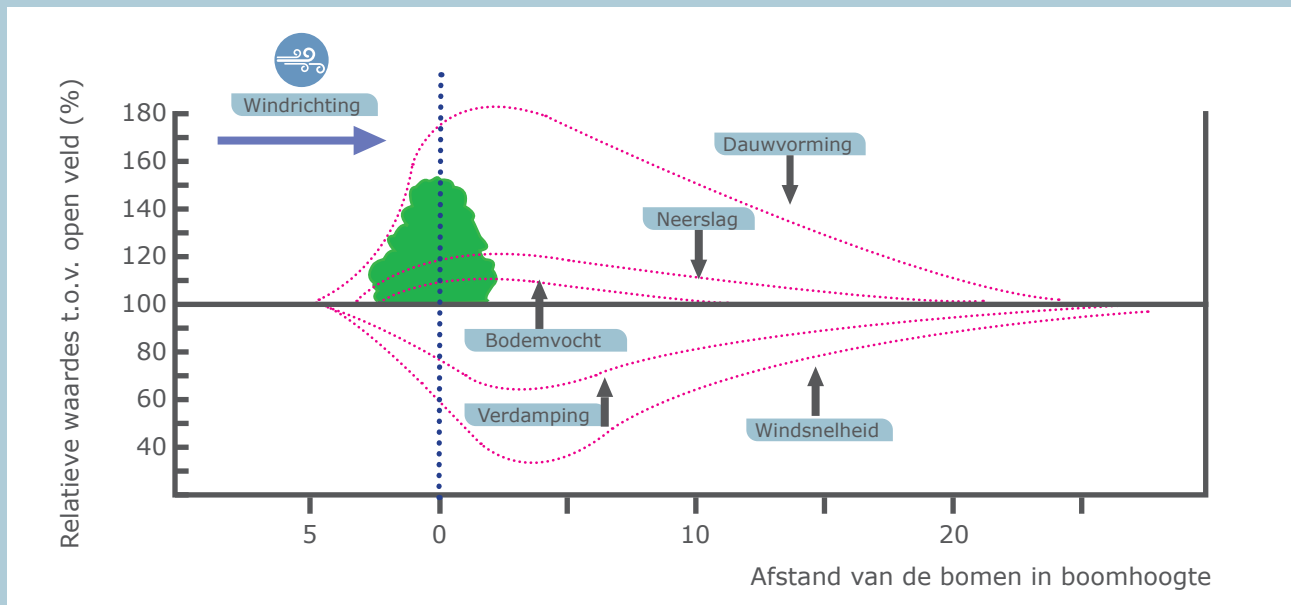
De schaduw van bomen in combinatie met het afkoelende effect van bomen kan waardevol zijn voor adaptatie aan hittegolven, zeker op landschapsniveau. Op perceelsniveau is er een afwenteling tussen temperatuurverlaging en gewasopbrengsten op korte afstand van de bomen. Voor afkoeling direct onder de boomkroon is een dichte beplanting van bomen het beste, wat waardevol kan zijn tegen hittestress bij dieren. Voor gewasproductie heeft een lichte schaduw de voorkeur, maar dan zal ook de afkoeling door schaduw lager zijn.

Richtlijnen voor afkoeling	Richtlijnen voor minder lichtcompetitie
Kiezen voor boomsoorten met veel verdamping (als er niet ook droogteproblematiek is)	Snoeien voor een open en lichtdoorlatende boomkroon
Kiezen voor soorten en snoeien gericht op een dichte boomkroon	Kiezen voor soorten met open en lichtdoorlatende boomkroon (bv. walnoot)
Kiezen voor hoge bomen met een lange schaduwworps	Lagere boomhoogtes (bv. fruitbomen of hakhout met korte omlooptijd)
Kiezen voor oost-west oriëntatie van aanplant waardoor de noordkant van de bomen sterk afgekoeld is	Kiezen voor een passende oriëntatie van de boomstroken: Noord-zuid oriëntatie geeft meer licht in voorjaar en najaar, oost-west geeft meer in zomer en winter. Noord-zuid en geeft een homogene schaduwwerking aan beide kanten van de bomen
Kiezen voor hoge boomedichtheden	Kiezen voor lage boomedichtheden (bv. <20% kroonbedekking)
Kiezen voor kleine boomstrookafstanden	Kiezen voor grote boomstrookafstanden (eg. 6-10 keer de boomhoogte) evt. gecombineerd met meerdere bomenrijen per boomstrook (Factsheet 7 – Planting patterns)

Watertekort en droogte

Bomen hebben een afkoelende werking door hun eigen verdamping en remmen de eventuele wind, wat zorgt voor minder bodem- en gewasverdamping. Bomen kunnen ook diepliggend water oppompen naar de oppervlakkige bodemlagen (genoemd "hydraulic lift"). Deze aspecten kunnen de waterhuishouding bij watertekort beïnvloeden.

bomenrijen is niet van invloed op de afstand tot waar het windremmeffect optreedt⁴³. Enkele boomrijen geven wel minder windremming dan meerdere boomrijen, in verhouding tot de optische porositeit van de aanplant⁴⁴. De optische porositeit zegt iets over de mate waarin het mogelijk is om door de beplanting heen te kijken.



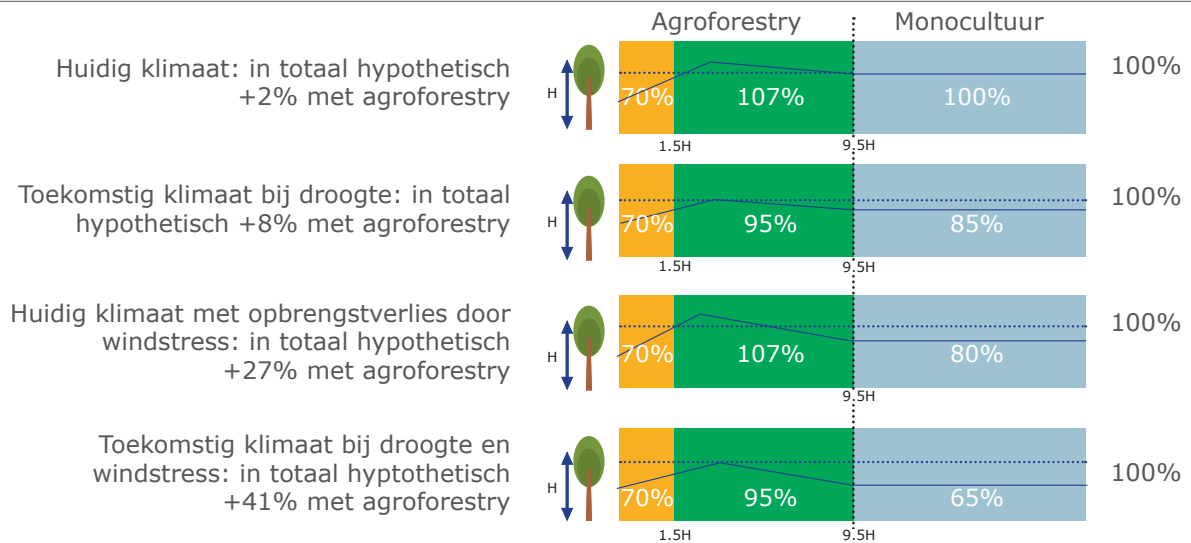
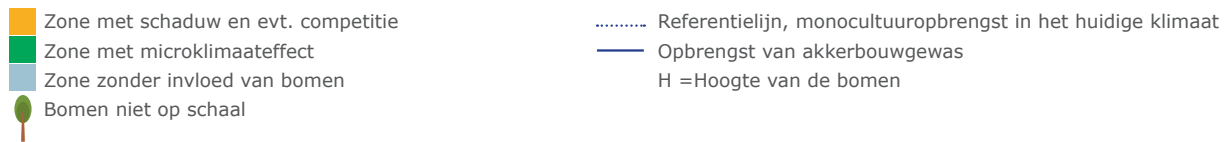
Figuur 2 | De effecten van een windhaag op het microklimaat met de windrichting in een rechte hoek op de haag (gebaseerd op Leuscher & Ellenberg, 2017)

Windremming

Wind heeft een sterke invloed op de verdamping van gewassen doordat die steeds droge(re) lucht brengt naar de gewassen. Hierdoor blijft het verschil in vochtgehalte van de lucht tussen bladholtes en de buitenlucht groot. Deze gradiënt zorgt voor dat het verdampingsproces sneller verloopt. Daarnaast geeft wind ook stress in planten doordat ze steeds bewegen¹.

De windremming door bomen is afhankelijk van de lengte, hoogte en richting van de aanplant in relatie tot de wind¹. Een windhaag remt de windsnelheid tot meestal 10 keer de boomhoogte, soms tot zelfs 30 keer de hoogte. Dit is afhankelijk van de structuur van de windhaag en de lokale omstandigheden. In de zone van 3-11 keer de windhaaghoogte is de windreductie het hoogst (bv. 60-80%)^{39|40}. Het exacte percentage van windremming is groter bij hogere windsnelheden⁴¹. Aan de windkant van de windhaag, is er ook sprake van windremming, tot aan 4 keer de boomhoogte¹. Met een poreuze windhaag loopt er wat wind door de windhaag, maar het risico op turbulentie is minder^{39|40|42}. Het aantal





Figuur 3| Schematische weergave van de hypothetische effecten van bomen op gewasopbrengsten op verschillende afstanden van een windremmende boomstrook. De verwachting is dat de potentie van agroforestry voor klimaatadaptatie ten opzichte van een eenjarig gewas in monocultuur vooral groot is in geval van droogte en windstress. Deze getallen zijn gebaseerd op aannames. 70% opbrengstderving tot 1,5*H, 7% opbrengstverhoging tussen 1,5 en 9,5*H (Van Vooren et al., 2016). 15% opbrengstverlies door droogte waarbij agroforestry hypothetisch een verhoging geeft van 10% tussen 1,5 en 9,5*H t.o.v. de monocultuur. 20% (verborgen) opbrengstverlies door windstress wat geheel verholpen wordt door een doelgerichte windhaag (gebaseerd op onderzoek naar windhagen in gebieden met veel of sterke wind, zie factsheet nr. 7). Er wordt vanuit gegaan dat de effecten optelbaar zijn, dat er geen irrigatie plaatsvindt en dat het watertekort de opbrengsten verminderen, ook mét agroforestry.

In geval van droogte of een hittegolf is de luchttemperatuur warmer dan het gewas, waardoor de wind zelf geen afkoelend effect heeft op het gewas.

Onderzoek toont ook effecten van windremming met agroforestry (optische porositeit van ca. 40-60%) op de waterhuishouding:

- Ca. 30% lagere waterconsumptie mogelijk in het gebied tot 12 keer de boomhoogte (Duitsland)^{45|46|}
- 64% efficiëntere waterconsumptie (kg opbrengst per m³ water) in het beschermde gebied vergeleken met een perceel zonder windbescherming (Zuid-Europa)^{47|}
- De besparing op waterconsumptie is aangetoond tot een afstand van net zo ver als de windremming^{46|} en kan de extra waterconsumptie van de boom geheel compenseren^{46|} (Centraal-Azië)
- Meer dauwvorming en neerslag waar de wind geremd wordt^{1|}



Korte samenvatting

Windremming kan op grote afstand van de bomen zorgen voor een verlaagd waterverbruik in het gewas. De studies naar windremming zijn uitgevoerd in (open) landschappen waar windremming van belang was, hierdoor werden ook grote effecten teweeggebracht door de windremming. In gebieden waar er al veel bomen zijn in het landschap, zal het effect kleiner zijn. Het is wel aannemelijk dat in de open gebieden, zoals in de polders, windremming positieve effecten kan geven.

Richtlijnen voor effectieve windremming:

- Zorg voor een optische porositeit van de windhaag van 40-60% voor een verreichende windremming
 - Enkele rijen bomen: kies voor dichte beplantingen van bomen met lage takken of met onderbegroeiing zoals struiken⁴⁸
 - Meerrijige boomstroken: zorg ervoor dat individuele bomen in de aangrenzende rijen niet precies naast elkaar staan (maar kruisgewijs tegenover elkaar, dus overlappend, zodat je geen grote gaten krijgt)
- Plant aan loodrecht op de overheersende windrichting die heerst in de tijd van het jaar wanneer je de wind wilt remmen
- Zorg voor een loodrechte beplanting voor een verreichende windremming
- Zorg voor diversiteit (in soorten, groeiwijze, plantpatroon) in de aanplant

Watercompetitie

Bomen komen over het algemeen eerder in blad dan gewassen en kunnen veel water verdampen waardoor eerder vochtgebrek zou kunnen optreden in gewassen die dichtbij bomen groeien. Het is lastig om te voorspellen hoe groot deze competitie gaat zijn voor een specifieke combinatie van boom, gewas en locatie. Als de wortels van de bomen in contact staan met het grondwater, zou de competitie lager kunnen zijn. De literatuur is niet eenduidig in of bomen de waterbeschikbaarheid van gewassen verhogen of verlagen, wat naar verwachting afhangt van de boomsoort en de dichtheid van de beplanting¹.

Er wordt vaak vanuit gegaan dat bomen zorgen voor een totaal hogere verdamping en waterverbruik, hetgeen negatief zou kunnen zijn voor de

grondwateraanvulling. Maar onderzoek toont dat het totale waterverbruik niet hoger hoeft te zijn met agroforestry⁴⁹. Voor gevoelige gebieden is het belangrijk om de effecten op de waterbalans goed uit te zoeken voordat er op grote schaal geplant wordt.

Bomen kunnen ook onder droge omstandigheden nieuw water beschikbaar stellen aan gewassen door s 'nachts water uit diepe bodemlagen omhoog te pompen naar de drogere bovenlagen⁵⁰. Dit proces heet hydraulische lift en wordt teweeggebracht door verschillen in waterpotentiaal. Hydraulische lift kan zorgen voor een significant verbeterde waterbeschikbaarheid in andere planten vanaf 0,25 tot 0,4 keer de boomhoogte^{51|52}, dus in de zone van directe competitie. De hoeveelheid opgetild water door dit proces bedraagt tot 30% van het dagelijks verdampte water van de boom⁵³. De soorten waarin hydraulische lift aangetoond is hebben allemaal deels diepe wortels voor wateropname, maar ook oppervlakkige wortels⁵⁴. Hydraulische lift is aangetoond bij soorten zoals wilg, populier⁵⁵, beuk⁵⁴ en walnoot⁵⁶ en ook bij soorten in de botanische familie van de eik, pruim en esdoorn^{40|57}.

Korte samenvatting

Of agroforestry de waterbeschikbaarheid voor de gewassen naast de bomen of op landschapsniveau verbetert of verlaagt in geval van watertekort is niet eenduidig. Het is niet te zeggen of hydraulische lift relevant kan zijn voor klimaatadaptatie in de huidige landbouw in verband met het geringe onderzoek dat hiernaar gedaan is en de korte reikwijdte van dit effect.

Richtlijnen voor verminderde watercompetitie:

- Boomsoorten kiezen met diepe wortels
- Boomsoorten kiezen met een lage waterconsumptie
- Wortelsnoei van oppervlakkige wortels langs de boomstrook
- Snoeien van takken (dit verlaagt ook de hoeveelheid wortels)
- Lagere boomdichtheden (bv. <20% kroonbedekking)
- Grote boomstrookafstanden (bv. 6-10 keer de boomhoogte) evt. gecombineerd met meerdere rijen per boomstrook

Omvang van ziekten en plagen

Het veranderende klimaat gaat waarschijnlijk ook invloed hebben op insectenplagen, aangezien de temperatuur rechtstreeks van invloed is op hun ontwikkelingssnelheid⁵⁸. Dit zou kunnen betekenen dat insectenplagen zich eerder in het seizoen ontwikkelen en meer generaties voortbrengen in een jaar. Nederland kan zich ook ontwikkelen tot een geschikt habitat voor nieuwe ziekten- en plaagsoorten, waardoor er langzamerhand migratie hiernaartoe plaatsvindt en nieuwe soorten zich hier vestigen⁵⁹. Het is lastig om zich hier op voor te bereiden. Of agroforestry iets kan betekenen voor adaptatie aan ziekten en plagen die opkomen in verband met klimaatverandering is niet duidelijk. Verwacht wordt dat agroforestry een bijdrage kan leveren aan de adaptatie in de vorm van het bieden van habitat voor natuurlijke vijanden en door het verlagen van de (water)stress bij gewassen, waardoor ze minder gevoelig zijn voor ziekten- en plagen. Een mogelijk nadeel van agroforestry kan zijn dat het meer vochtige microklimaten creëert, hetgeen een snellere ontwikkeling van schimmels zou kunnen veroorzaken¹.

Aan de slag met klimaatadaptatie met agroforestry

In de toekomst verwachten we onder andere meer droogteproblematiek en wateroverlast. Bomen bieden mogelijkheden voor adaptatie hieraan, vooral door hun **bufferende werking op pieken in temperatuur, wind en neerslag** waardoor de verwachting is dat de waarde van agroforestry zal toenemen in de toekomst.

- **Wateroverlast:** De waarde van agroforestry op perceelsniveau in vlakke gebieden is niet goed bekend, maar wordt verwacht laag te zijn in verband met de korte reikwijdte van de effecten. Op landschapsniveau, vooral in hellende gebieden, lijkt agroforestry een belangrijke onderdeel te kunnen zijn van een adaptatiestrategie.
- **Hitte:** De waarde van agroforestry voor afkoeling is groot op korte afstand van de bomen en kan belangrijk zijn bij het tegengaan van hittestress bij dieren. Voor gewassen op korte afstand van de bomenrij is agroforestry om specifiek deze reden ongunstig door het negatieve effect van schaduw op opbrengsten. Het afkoelende effect van bomen op perceels- of landschapsniveau is kwantitatief niet goed aan te geven, maar lijkt

wel potentie te hebben als onderdeel van een adaptatiestrategie tegen hitte.

- **Droogte en watertekort:** Naast het afkoelende effect van bomen biedt agroforestry perspectief voor klimaatadaptatie door vermindering van vochtverdamping in het gewas door windremming over een groot oppervlak. Hydraulische lift speelt alleen in de zone dichtbij de bomen een rol en is nog niet aantoonbaar relevant in onze landbouwcontext.
- **Ziekten en plagen:** De waarde van agroforestry is grotendeels onbekend en speculatief. Mogelijk kan een meer complex ecosysteem zorgen voor een bufferende werking tegen (nieuwe) ziekten en plagen.

Uit bovenstaande kan geconcludeerd worden dat agroforestry bij voorkeur ingezet kan worden voor klimaatadaptatie op gewaspercelen waar waterbeheersing van belang is, zoals in:

- open gebieden die beperkte windbescherming en beregeningsmogelijkheden hebben
- in hellende gebieden met slechte mogelijkheden voor wateropslag- en infiltratie bij wateroverlast
- wind- en watererosiegevoelige gebieden

Door de hogere soortendiversiteit in het zuiden is het te verwachten dat met een warmer klimaat in de toekomst er meer boomsoorten geteeld kunnen worden in Nederland. Hierdoor kan gekeken worden naar teelten vanuit warmere klimaten, zoals tamme kastanjes. Ben je van plan om bomen te planten, vergeet niet dat je soorten kiest die passen bij het verwachte klimaat in de toekomst. De potentie van agroforestry gaat waarschijnlijk toenemen richting de toekomst. Door de lange ontwikkelingstijd van bomen is het belangrijk om nu al te kijken naar waar we bomen het beste kunnen planten voor een klimaatadaptieve landbouw in de toekomst.

Deze factsheet heeft geschetst wat de potentie is van bomen voor klimaatadaptatie op basis van literatuuronderzoek en geeft enkele handvaten voor het ontwerpen van agroforestry-systemen. Naast het uitvoeren van meer wetenschappelijk onderzoek voor de Nederlandse context, is praktijkervaring hard nodig om de komende jaren de kennis over dit onderwerp verder uit te breiden.

Bronnen |

- ¹ **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.
- ² **CLO** (2020) Geraadpleegd op: 27-09-2022 URL: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0508-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>
- ³ **KNMI'14-klimaatscenario's** (n.d.) UR: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatscenario-s> Geraadpleegd: 25-08-2022
- ⁴ **Sharpe, D.M.** (1987). Microclimatology . In: *Climatology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-387-30749-4_115
- ⁵ **Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., ... & Sullivan, C. A.** (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global environmental change*, 43, 51-61.
- ⁶ **Van Vooren, L., Reubens, B., Broekx, S., Pardon, P., Reheul, D., van Winsen, F., ... & Lauwers, L.** (2016). Greening and producing: An economic assessment framework for integrating trees in cropping systems. *Agricultural Systems*, 148, 44-57.
- ⁷ **Coussement, T., Maloteau, S., Pardon, P., Artru, S., Ridley, S., Javaux, M., & Garré, S.** (2018). A tree-bordered field as a surrogate for agroforestry in temperate regions: Where does the water go?. *Agricultural Water Management*, 210, 198-207.
- ⁸ **Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H.** (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61-76.
- ⁹ **Cardinael, R., Mao, Z., Chenu, C., & Hinsinger, P.** (2020). Belowground functioning of agroforestry systems: recent advances and perspectives. *Plant and Soil*, 453(1), 1-13.
- ¹⁰ **Le Bissonnais, Y., Prieto, I., Roumet, C., Nespoulous, J., Metayer, J., Huon, S., ... & Stokes, A.** (2018). Soil aggregate stability in Mediterranean and tropical agro-ecosystems: effect of plant roots and soil characteristics. *Plant and Soil*, 424(1), 303-317.
- ¹¹ **Palma, J. H. N., Graves, A. R., Bunce, R. G. H., Burgess, P. J., De Filippi, R., Keesman, K. J., ... & Herzog, F.** (2007). Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, ecosystems & environment*, 119(3-4), 320-334.
- ¹² **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.
- ¹³ **Monteith, J. L., Ong, C. K., & Corlett, J. E.** (1991). Microclimatic interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and management*, 45(1-4), 31-44.
- ¹⁴ **Yang, B., Lee, D. K., Heo, H. K., & Biging, G.** (2019). The effects of tree characteristics on rainfall interception in urban areas. *Landscape and Ecological Engineering*, 15(3), 289-296.
- ¹⁵ **Smets, V., Wirion, C., Bauwens, W., Hermy, M., Somers, B., & Verbeiren, B.** (2019). The importance of city trees for reducing net rainfall: comparing measurements and simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(9), 3865-3884.
- ¹⁶ **Pflug, S., Voortman, B. R., Cornelissen, J. H., & Witte, J. P. M.** (2021). The effect of plant size and branch traits on rainfall interception of 10 temperate tree species. *Ecohydrology*, 14(8), e2349.
- ¹⁷ **Schoeneberger, M., Bentrup, G., De Gooijer, H., 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), 128A-136A.
- ¹⁸ **Artru, S., Garré, S., Dupraz, C., Hiel, M. P., Blitz-Frayret, C., & Lassois, L.** (2017). Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. *European Journal of Agronomy*, 82, 60-70.
- ¹⁹ **Heisler, G. M.** (1986). Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. *Urban ecology*, 9(3-4), 337-359.
- ²⁰ **Gosme, M., Dufour, L., Aguirre, H. D. I., & Dupraz, C.** (2016). Microclimatic effect of agroforestry on diurnal temperature cycle. In 3. *European Agroforestry Conference (EURAF 2016)* (pp. 466-p).
- ²¹ **Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wortche, H., & Leemans, R.** (2015). Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosystems*, 18(4), 1305-1331.
- ²² **Renaud, V., & Rebetez, M.** (2009). Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer of 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(5), 873-880.
- ²³ **Jeddeloh zu H, Collet G** (1981) Die Wirkung von Windschutz in der Landschaft. *AFZ Der Wald* 15:359-360
- ²⁴ **Quinkenstein, A., Woellecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B. U., & Hüttl, R. F.** (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental science & policy*, 12(8), 1112-1121.
- ²⁵ **Grünewald, H., Böhm, C., Bärwolff, M., Wöllecke, J., Quinkenstein, A., Hoffmann, J., & Rohstoffe, N.** (2009). Ökologische Aspekte von Agroforstsystemen. In *Symposium Energiepflanzen* (pp. 233-263).
- ²⁶ **Luske B., Van Ekeren, N.,** (2018) Agroforestry en het melkveebedrijf, Ekoland.
- ²⁷ **van der Werf, W., Keesman, K., Burgess, P., Graves, A., Pilbeam, D., Incoll, L. D., ... & 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(4), 419-433.
- ²⁸ **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.

- ²⁹ **Ivezić, V., Yu, Y., & Werf, W. V. D.** (2021). Crop yields in European agroforestry systems: a meta-analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606631.
- ³⁰ **Vaccaro, C., Six, J., & Schöb, C.** (2022). Moderate shading did not affect barley yield in temperate silvoarable agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 96(4), 799-810.
- ³¹ **Feldhake, C. M.** (2001). Microclimate of a natural pasture under planted Robinia pseudoacacia in central Appalachia, West Virginia. *Agroforestry systems*, 53(3), 297-303.
- ³² **Burgess, A. J., Cano, M. E. C., & Parkes, B.** (2022). The deployment of intercropping and agroforestry as adaptation to climate change. *Crop and Environment*.
- ³³ **Arenas-Corraliza, M. G., López-Díaz, M. L., & Moreno, G.** (2018). Winter cereal production in a Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 264, 111-118.
- ³⁴ **Moreno, G.** (2008). Response of understorey forage to multiple tree effects in Iberian dehesas. *Agriculture, ecosystems & environment*, 123(1-3), 239-244.
- ³⁵ **Renaud, V., Innes, J. L., Dobbertin, M., & Rebetez, M.** (2011). Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998– 2007). *Theoretical and Applied Climatology*, 105(1), 119-127.
- ³⁶ **Raskin et al.** (2019) *The Agroforestry Handbook, Agroforestry for the UK*
- ³⁷ **Dupraz, C., Blitz-Frayret, C., Lecomte, I., Molto, Q., Reyes, F., & Gosme, M.** (2018). Influence of latitude on the light availability for intercrops in an agroforestry alley-cropping system. *Agroforestry Systems*, 92(4), 1019-1033.
- ³⁸ **Ivezić, V., Yu, Y., & Werf, W. V. D.** (2021). Crop yields in European agroforestry systems: a meta-analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606631.
- ³⁹ **Prabhu, R.** (2019) *Agroforestry for sustainable agriculture*, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, DOI 10.19103/AS.2018.0041.
- ⁴⁰ **Quinkenstein, A., Woellecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B. U., & Hüttl, R. F.** (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental science & policy*, 12(8), 1112-1121.
- ⁴¹ **Böhm, C., Kanzler, M., & Freese, D.** (2014). Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry Systems*, 88(4), 579-591.
- ⁴² **Nuberg, I. K.** (1998). Effect of shelter on temperate crops: a review to define research for Australian conditions. *Agroforestry Systems*, 41(1), 3-34.
- ⁴³ **Heisler, G. M., & Dewalle, D. R.** (1988). 2. Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, ecosystems & environment*, 22, 41-69.
- ⁴⁴ **Bitog, J. P., Lee, I. B., Hwang, H. S., Shin, M. H., Hong, S. W., Seo, I. H., ... & Pang, Z.** (2012). Numerical simulation study of a tree windbreak. *Biosystems engineering*, 111(1), 40-48.
- ⁴⁵ **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.
- ⁴⁶ **Thevs, N., Gombert, A. J., Strenge, E., Lleshi, R., Aliev, K., & Emileva, B.** (2019). Tree wind breaks in Central Asia and their effects on agricultural water consumption. *Land*, 8(11), 167.
- ⁴⁷ **Campi, P., Palumbo, A. D., & Mastroilli, M.** (2009). Effects of tree windbreak on microclimate and wheat productivity in a Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 30(3), 220-227.
- ⁴⁸ **Vacek, Z., Řeháček, D., Cukor, J., Vacek, S., Khel, T., Sharma, R. P., ... & Papaj, V.** (2018). Windbreak efficiency in agricultural landscape of the Central Europe: multiple approaches to wind erosion control. *Environmental management*, 62(5), 942-954.
- ⁴⁹ **Markwitz, C., Knohl, A., & Siebicke, L.** (2020). Evapotranspiration over agroforestry sites in Germany. *Biogeosciences*, 17(20), 5183-5208
- ⁵⁰ **Alagele, S. M., Jose, S., Anderson, S. H., & Udawatta, R. P.** (2021). Hydraulic lift: processes, methods, and practical implications for society. *Agroforestry Systems*, 95(4), 641-657.
- ⁵¹ **Dawson, T. E.** (1993). Hydraulic lift and water use by plants: implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia*, 95(4), 565-574.
- ⁵² **Filella, I., & Peñuelas, J.** (2003). Indications of hydraulic lift by *Pinus halepensis* and its effects on the water relations of neighbour shrubs. *Biologia Plantarum*, 47(2), 209-214.
- ⁵³ **Bayala, J., & Wallace, J. S.** (2015). The water balance of mixed tree-crop systems. *Tree-crop interactions: agroforestry in a changing climate*, 146-190.
- ⁵⁴ **Zapater, M., Hossann, C., Bréda, N., Bréchet, C., Bonal, D., & Granier, A.** (2011). Evidence of hydraulic lift in a young beech and oak mixed forest using 18O soil water labelling. *Trees*, 25(5), 885-894.
- ⁵⁵ **Liste, H. H., & White, J. C.** (2008). Plant hydraulic lift of soil water—implications for crop production and land restoration. *Plant and Soil*, 313(1), 1-17.
- ⁵⁶ **Sun, S. J., Meng, P., Zhang, J. S., & Wan, X.** (2014). Hydraulic lift by *Juglans regia* relates to nutrient status in the intercropped shallow-root crop plant. *Plant and Soil*, 374(1), 629-641.
- ⁵⁷ **Caldwell, M. M., Dawson, T. E., & Richards, J. H.** (1998). Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia*, 113(2), 151-161.
- ⁵⁸ **Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., ... & Whittaker, J. B.** (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global change biology*, 8(1), 1-16.
- ⁵⁹ **Trebicki, P., & Finlay, K.** (2019). Pests and diseases under climate change; its threat to food security (pp. 229-249). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.



Auteurs | Isabella Selin-Norén

Met medewerking van | Marcel Vijn, Maureen Schoutsen, Daan Verstand & Stefan van Gestel

Vormgeving | Caroline Verhoeven

Afbeelding voorpagina | Landbouwbedrijf Reiner Guhl (Duitsland) | Maureen Schoutsen

Contact |

Wageningen University & Research | Open Teelten
E | maureen.schoutsen@wur.nl T | +31(0)320 29 16 40
E | isabella.selinnoren@wur.nl T | +31(0)320 29 11 74

Deze factsheet is onderdeel van de serie 'Factsheets Agroforestry' en is een resultaat van het landelijk onderzoeksprogramma (PPS) Agroforestry (2019-2022)' (medegefinancierd door het ministerie van LNV).

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

© 2022 Wageningen University & Research