



Bomen, Bos en Waterbeheer

Lokale praktijkvoorbeelden laten zien dat de aanleg van natuurlijk bos, voedselbos en agroforestry in de stroomgebieden van onze wateren van meerwaarde kunnen zijn voor biodiversiteit, koolstofvastlegging, het bufferen van water en waterveiligheid. De Nationale Bossenstrategie, het Klimaatakkoord en het programma Integraal Rivier Management bieden kaders om deze landgebruiksvormen breder toe te passen. De randvoorwaarde is wel dat er verdienmodellen ontwikkeld worden voor de betrokken ondernemers en de ecosysteemdiensten voor de maatschappij worden gekwantificeerd. Op deze vlakken liggen de belangrijkste kennisbehoeften.

1. INLEIDING

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

3. STROOMGEBIEDSBENADERING: SCHEMATISCHE WEERGAVE

4. BOMEN EN WATER VASTHOUDEN

- Werking
- Kosten en baten
- Governance
- Praktijkervaring, lopende initiatieven en onderzoek

5. BOMEN EN WATERVELIGHEID

- Werking
- Kosten en baten
- Governance
- Praktijkervaring, lopende initiatieven en onderzoek

6. KENNISLEEMTEN

7. BRONNEN EN LINKS

8. COLOFON

1. INLEIDING

In een polder, beekdal of rivierlandschap zijn altijd bomen aanwezig in verschillende configuraties. De bomen kunnen solitair of in een lijn geplant zijn langs of op een dijk, langs een kanaal of weg door een beheerder of een particulier. Op stroomgebiedsniveau zijn er o.a. natuurlijke bossen, productiebossen, boomgaarden, houtige gewassen, oibossen en ook voedselbossen te vinden.

Bomen beïnvloeden het waterbeheer en de waterveiligheid van primaire en regionale keringen. Bij het maken van ruimtelijke regionale plannen of bij het beheer van een dijk is het daarom zinvol hiermee rekening te houden. In deze Deltafact gaan we nader in wat bomen betekenen op stroomgebiedsniveau voor:

- 1) Het **vasthouden van water** (in de bodem), en daaraan gerelateerde onderwerpen zoals: wateroverlast, uitspoeling van nutriënten vanuit beboste percelen, de effecten op waterkwaliteit (bijvoorbeeld via beschaduwing), de betekenis voor klimaatbeleid (vastlegging van o.a. CO₂), bodemcondities, voedselproductie en de biodiversiteitswaarde van bomen voor (aquatische) natuur;
- 2) **Waterveiligheid** in relatie tot de aanwezigheid van bomen op en in de directe omgeving van waterkeringen, zowel bij de aanleg/versterking, het beheer als het onderhoud van waterkeringen (zowel primair als regionaal).
- 3) Voor beide onderwerpen worden de kennisleemten in beeld gebracht.

2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS

Er zijn Deltafacts beschikbaar over de rol van landgebruik in relatie tot zoetwatervoorziening, bodemaspecten en waterbeheer in de stad. Deze Deltafact biedt hierop een aanvulling door naar landgebruiksvormen te kijken waar bomen en houtige gewassen centraal staan in plaats van eenjarige gewassen.



Afbeelding 1 Waterretentie bij Dwingelderveld (foto: Natuurmonumenten)

Alsmede gaan we in op de rol van bomen in relatie tot beheer, onderhoud en veiligheid van dijklichamen en beschikbare middelen (assets).

Er zijn daarnaast in het verleden ook een aantal handleidingen van STOWA uitgebracht met betrekking tot bomen en beplanting op en nabij (verdroogde) boezemkaden en waterkeringen (zie hoofdstuk 5).

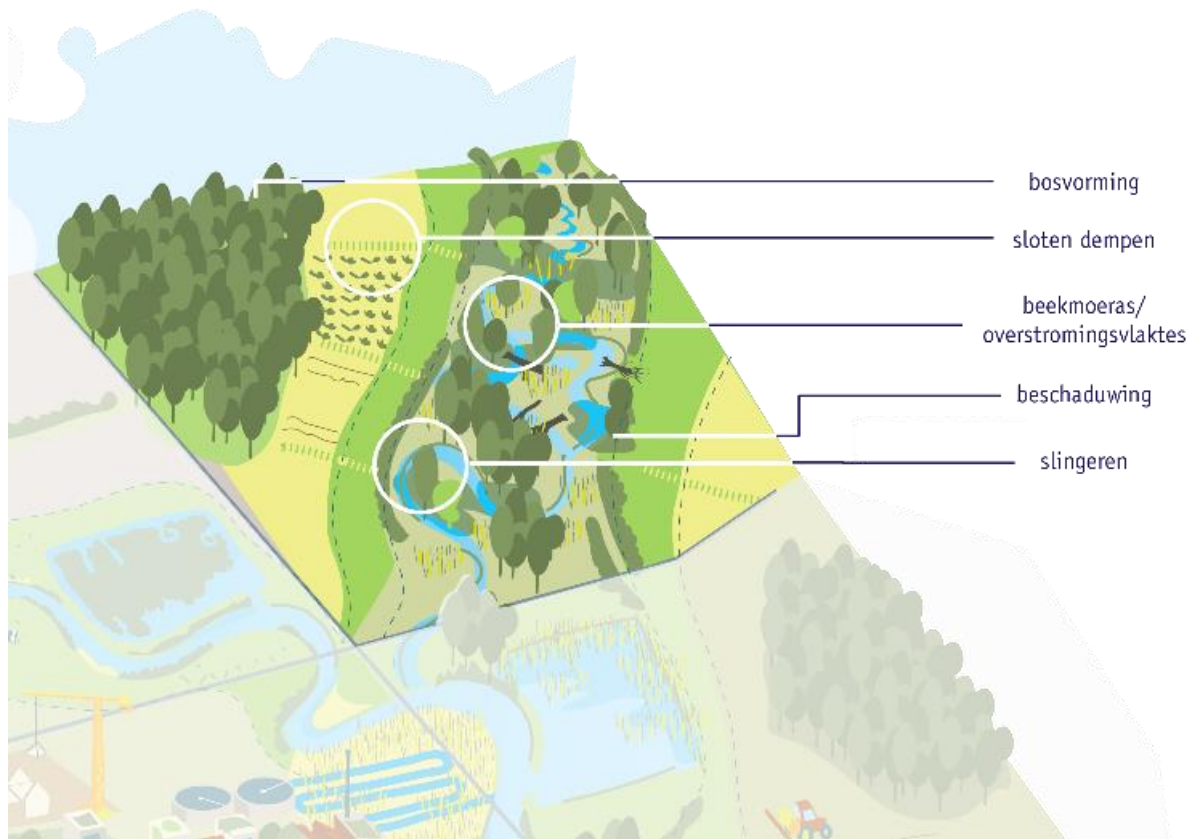
Trefwoorden: Bomen, beplanting, waterveiligheid, invloedzone, waterkering, boezemkade, beheer, onderhoud, sterkte, natuurwaarde, beleving, droogte, vernatting

Factsheets: [Bodemorganische stof](#), [Verdamping](#), [Stedelijk waterbeheer](#), [Droogte stuurt functies](#), [Bouwen in en op waterkeringen](#), [Deltadijk](#), [Meerlaagsveiligheid in de praktijk](#), [Nieuwe normering van waterveiligheid](#), [bloemrijke dijken](#)

3. Stroomgebiedsbenadering: schematische weergave

In het Nederlandse landschap zijn de bossen in de huidige situatie vooral te vinden op de hogere zandgronden (voorbeeld Veluwe) en in de lagere delen is er veel landbouwgebied met veeteelt, akkerbouw (eenjarige gewassen) en gekanaliseerde beekdalen. De [nationale bossenstrategie](#) en binnen het [project Nederland 2120](#) is nagedacht of er in de toekomst ontwikkeling van meer moerasbossen, voedselbossen en agroforestry rondom steden mogelijk is in combinatie met ontwikkeling van graslanden met veel biodiversiteit op hogere gronden ([Baptist et al., 2019](#)).

Figuur 1 illustreert hoe beekdalherstel en herbebossing kunnen bijdragen aan het vasthouden van water op stroomgebiedsniveau. De aan- en afwezigheid van passages van bomen langs beken leidt ook tot allerlei lokale variaties in microklimaat (beschaduwing, windluwtes) en abiotische omstandigheden (natuurlijke fluxen van organisch materiaal via vallende bladeren en takken). Het leven en de biodiversiteit in de beek profiteert van deze variaties, al bij een klein aantal bomen ([Verdonschot et al., 2012](#)). Bomen kunnen ook een rol hebben bij wolkenvorming en -beweging in een landschap ([Teuling et al., 2017](#)).



Figuur 1, de rol van bos en natuur in een stroomgebied of beekdal
[Klimaatbestendige beekdallandschappen](#) (STOWA, 2019).

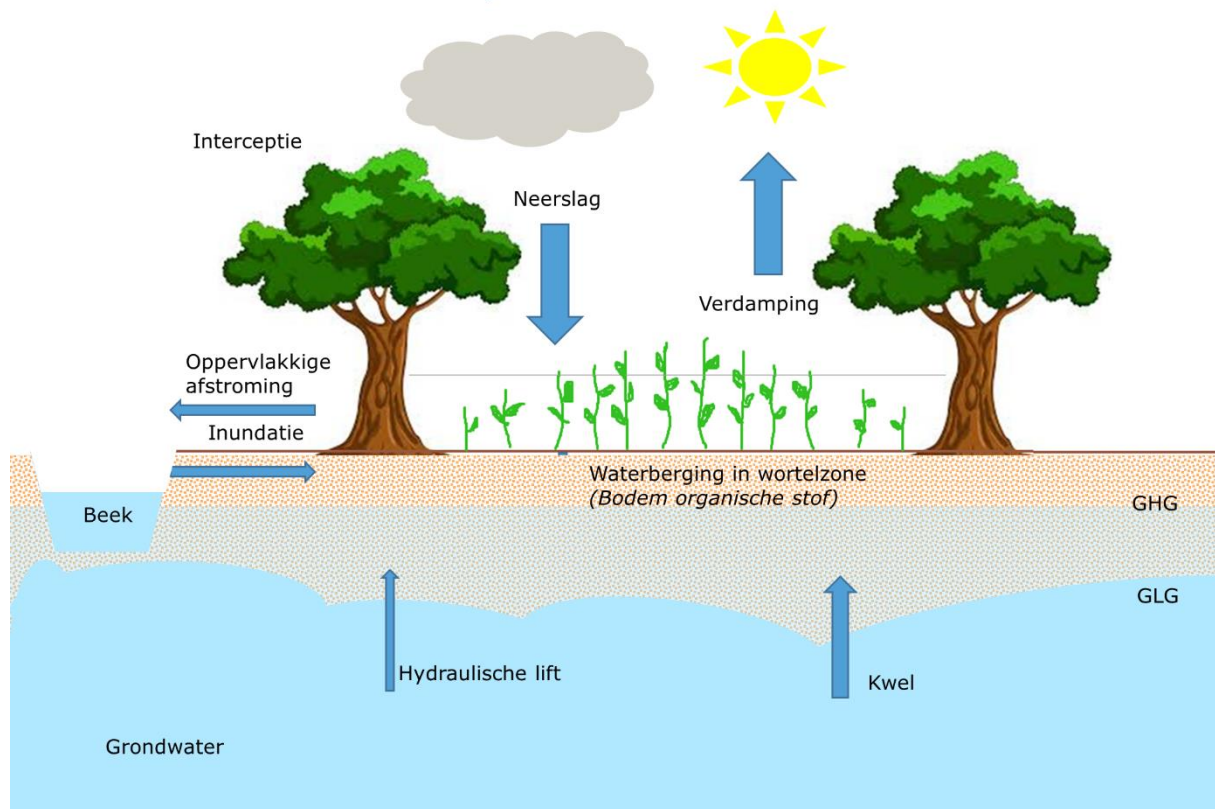
4. Bomen en water vasthouden

Werking

Bomen

Bomen beïnvloeden het microklimaat, de bodem en de watercyclus op lokaal niveau (Figuur 2). De kruin van de boom vangt de eerste neerslag op (interceptie). de bladeren spelen ook een rol bij de verdamping. Neerslag die de grond bereikt kan bij harde buien als oppervlakkige afstroming in het oppervlaktewater terecht komen. Dit versneld afvoeren van water betekent dat er minder water beschikbaar is voor de planten op het land. Het water dat infiltreert tot verder dan de wortelzone en wegvloeit door diepere lagen is belangrijk voor het watervasthoudend vermogen.

Bomen verbeteren dit proces doordat het wortelsysteem water dieper de grond inbrengt. Bij sommige boomsoorten (o.a. aangetoond bij eik en beuk in Noordwest Europese bossen) is het mogelijk dat, via de wortels, water van diepere natte lagen naar drogere oppervlakkige lagen gebracht wordt. Dit heet hydraulische lift ([Zapater et al., 2011](#)).



Figuur 2, De rol van bomen in de waterbalans op een perceel waar boomteelt gecombineerd wordt met eenjarige gewassen (schematisch weergegeven). Figuur afgeleid uit: Klink et al., 2018a, b.

Het resterende deel wordt vastgehouden in de wortelzone en kan verder infiltreren naar het grondwater. Hoeveel water er in de wortelzone kan worden vastgehouden hangt af van o.a. het [bodemorganische stofgehalte, de porositeit en het bodemleven](#). In bos, voedselbos en natuurgebied wordt de bodem niet of nauwelijks bewerkt en wordt, veelal, minder biomassa afgevoerd waardoor het bodemorganische stofgehalte hoger zal zijn in vergelijking tot akker en tuinbouwgebieden. Ook zijn er verschillen in [microbiële processen en schimmelvorming](#) (Groen kennisnet, 2019) in de bodem van bos en landbouwgewassen (Steidinger et al, 2019.).

Een belangrijk verschil tussen bomen en landbouwgewassen is dat bomen veel dieper wortelen. Dat heeft voor- en nadelen voor de infiltratie naar het grondwater en de vochtvoorraad in de wortelzone (tabel 1).

Tabel 1, Voor- en nadelen van gecombineerde akker- en boomteelt ten opzichte van reguliere akkerbouw voor infiltratie en waterberging in wortelzone.

Voordelen	Nadelen
De dikke wortels leiden tot grotere macroporiën waardoor water dieper de grond in kan dringen (Shanstrom, 2014). De infiltratiecapaciteit is onder een bos vaak groter in vergelijking tot een bijvoorbeeld een begraasd grasland (Taylor et al., 2008).	Het is van belang dat de boomwortels niet verstrengeld zijn met de wortels van de landbouwgewassen. Wanneer dit het geval is zal er juist eerder droogtestress optreden bij de tussenliggende eenjarige landbouwgewassen (Espleta et al., 2004).
Het grote bladoppervlakte van bomen leidt tot interceptie en evapotranspiratie waardoor de afstroom verminderd en er minder erosie plaatsvind (Ellison et al., 2017).	Het grondwaterpeil is randvoorwaardelijk voor het positieve effect van bomen op het watervasthoudend vermogen van de bodem. Bij een te lage grondwaterstand zal er geen opwaartse stroom van water gerealiseerd worden (Espleta et al., 2004).
De kwaliteit van het bodemorganische stof is beter en het gehalte is groter waardoor er meer water in de wortelzone beschikbaar is in bos dan op landbouwbodem (Rebisz, 2019).	Gras en eenjarige gewassen zullen minder hard groeien onder bomen omdat er minder licht beschikbaar is.

De grootte van waterberging in de bodem en de infiltratie naar het grondwater is een belangrijke factor bij de inzet van bomen en bos om de effecten van verdroging in natuur en droogteschade in landelijk gebied tegen te gaan. De invloed op de hydrologie verschilt per boomsoort (tabel 2).

Tabel 2, De kenmerken van honderdboomsoorten ([Hiemstra, 2018](#)). Hoe meer sterretjes hoe groter de tolerantie voor hydrometeorologische extremen. Als er geen sterretjes staan dan doet Hiemstra et al. (2018) geen uitspraak over de tolerantie van betreffende soort.

Boomsoort	Droogte	Nat	CO ₂	Interceptie
	Tolerantie			
<i>Bomen die je vaak tegen komt in de Nederlandse bossen (Hiemstra, 2018)</i>				
Beuk (<i>Fagus silvatica</i>)	***		****	
Zomereik (<i>Quercus robur</i>)	**		****	**
Wintereik (<i>Quercus Petraea</i>)	*		****	**
Am. Eik (<i>Quercus Rubra</i>)	*			**
Grove den (<i>Pinus sylvestris</i>)	***		****	**
Zwarte den (<i>Pinus nigra</i>)	**		****	**
Fijnspar (<i>Picea Abies</i>)	*		***	***
Eur.Lariks (<i>Larix decidua</i>)	lage tolerantie		****	**
Ratel Populier (<i>populus tremula</i>)	***		****	**
Grauwe Abel (<i>Populus x canadensis</i>)	*		****	**
Zwarte populier (<i>Populus nigra</i>)	**		****	**
Spaanse Aak (<i>Acer campestre</i>)	***		***	*
Esdoorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	**		****	**
Tamme Kastanje (<i>Castanea sativa</i>)	lage tolerantie		****	**
Zachtharige berk (<i>Betula pubescens</i>)	lage tolerantie	*	****	**
Gladde Iep (<i>Ulmus laevis</i>)	**		****	
<i>Bomen en houtige gewassen die je vindt in agrobosbouw, fruitteelt en voedselbossen</i>				
Hazelaar (<i>Corylus avellana</i>)				
Walnoot (<i>Juglans nigra</i>)			****	**
Perenboom (<i>Pyrus sp.</i>)				
Appelboom (<i>Malus sp.</i>)			***	*
<i>Bomen in zachthoutoibossen en broekbos</i>				
Schietwilg (<i>Salix alba</i>)	**	**	****	**
Zwarte els (<i>Alnus glutinosa</i>)	lage tolerantie	**	***	**
Vogelkers (<i>Prunus padus</i>)			***	*

Bossen en natuur

Bomen hebben effect op de afvoerhydrologie van een beek of rivier en het watervasthoudend vermogen van de bodem mits het oppervlakte bos groot genoeg is in het stroomgebied. Voor de Maas is bijvoorbeeld met klimaatreconstructies en hydrologische modellering vastgesteld dat het aantal overstromingen van de Maas toegenomen is als gevolg van ontbossing sinds 2000 voor Christus. Herbepanting van bossen tijdens de afgelopen twee eeuwen kon niet voorkomen dat het aantal overstromingen sinds 1800 is toegenomen vooral ten gevolge van toename van de winterneerslag ([Ward et al., 2008](#)).

In de recente nationale bossenstrategie (2020) en het klimaatakkoord wordt ingezet op het herstel van rivierbegeleidend bos in de Nederlandse rivieren (1000 hectare). Dit draagt ook bij aan de Habitatdoelen waarvan de Staat van Instandhouding op dit moment ongunstig is. Een voorbeeld hiervan is het doel H91F (Vochtige alluviale bossen (zachthoutoobossen). Ook doelsoorten uit de vogelrichtlijn kunnen profiteren van herstel van dit type bos ([Adams et al., 2020](#)).

Herbebossing (buitendijks) en de aanleg van ooi- of moerasbos in de uiterwaarden van de rivier of het overstroombare gebied van de beek kunnen piekafvoeren verkleinen bij extreme neerslag en ervoor zorgen dat het water langer vastgehouden wordt in tijden van droogte. Bossen zijn bovendien een goede buffer rond waterlopen om verzuring en eutrofiering tegen te gaan ([Vänttinen et al, 2010](#)).

Wanneer bossen worden aangelegd in de uiterwaarden moet er bij de dimensionering van dijken wel rekening gehouden worden met het feit dat de maatgevende waterstand groter kan worden ([Rijkswaterstaat, 2014](#)). Dit is een voorbeeld van een inrichtingsaspect (bosaanleg) waarbij er voor- en nadelen te benoemen zijn voor de verschillende dimensies van waterafvoer en waterveiligheid (zie hoofdstuk 5). Een systematische afweging hiervan vindt in Nederland plaats binnen het [programma Integraal Riviermanagement](#).

De bosgebieden op de hogere zandgronden houden langer water vast in vergelijking tot akkers en weilanden en zij vullen ook het grondwater aan met infiltratie. Om waterinfiltratie verder te bevorderen kan nagedacht worden om naaldbossen te vervangen door meer open gebieden met loofbomen en kruidenrijke graslanden, aangezien deze laatste minder water verdampen. Ook graslanden hebben last van

droogte en warmte: Weide gras groeit minder snel (minder voedsel voor de koe) en een stadsgazon wordt geel. Dat is een plant-fysiologische aanpassing om de verdamping te verminderen. Het herstelvermogen van gras na droogte is echter bijzonder groot en groter bij Kruidenrijke graslanden. In het droge jaar 2019 leverde bijvoorbeeld productief kruidenrijk grasland op zandgrond aanzienlijk meer op dan Engels raaigras ([Louis Bolk Instituut, 2020](#)).

Agro-bosbouw en voedselbossen

Er zijn in Nederland steeds meer voorbeelden te vinden waar de teelt van eenjarige gewassen gemengd wordt met teelt van bomen en houtige gewassen die voedsel leveren. We kennen natuurlijk al de fruitteelt. Nieuwe ontwikkelingen betreffen agro-bosbouw en voedselbossen als een alternatief voor traditionele landbouw.

We spreken over agro-bosbouw (agroforestry) als houtige, meerjarige gewassen (bomen en struiken) bewust worden gemengd met akkerbouw, groenteteelt of grasland (soms inclusief begrazing), op hetzelfde perceel. De houtige gewassen kunnen voor meerdere doeleinden geplant worden, bijvoorbeeld voor de productie van fruit, noten of hout ([Keur & Selin Noren, 2020](#)).

Voedselbossen verenigen met hun ecosysteem benadering van voedselproductie meerdere functies voor mensen en natuur, zoals: recreatie, biodiversiteit- en, bodemherstel en voedselproductie. In de buurt van steden is dit van meerwaarde.

Uit studentonderzoek (Siepel et al., 2018) zijn er indicaties dat het bodemorganische stofgehalte gemiddeld is toegenomen van 4% in 2009 tot 9% in 2019 ([Rebisz, 2019](#)) in het [Voedselbos Ketelbroek te Groesbeek](#). Dit voedselbos ligt op een voormalige maïsakker met een lössbodem. De bodemorganische stofgehalten zijn vergeleken met een nabij gelegen akker: de grondboringen op beide percelen (akker, voedselbos) lieten een grote variatie in organische stof gehalte (0.5-10%) zien waarbij de hoogste waarden werden gemeten bij de toplaag onder de bomen. Wat een toename in bodemorganische stof gehalte betekent voor het water vasthoudend vermogen voor de bodems van [voedselbossen](#), [strokenteelt](#) en agrobosbouw systemen wordt onderzocht binnen [de topsector Agrifood](#). Ook verschillen in grondbewerking kunnen een rol spelen. In een voedselbos wordt bijvoorbeeld niet geploegd. Hierdoor zal het opgebouwde organische stof minder snel oxideren, en

wordt er geen bodemleven verstoord. Dit komt de structuur van de bodem ten goede ([D'Haene et al., 2009](#)).



Luchtfoto voedselbos Ketelbroek in de zomer (2020) tijdens droogte. Eromheen liggen akkerbouwpercelen en een kunstgras sportveld (Copyright: Wouter van Eck)

Meer is bekend over het watervasthoudend vermogen van de bodem onder verschillende typen bossen en verschillen hierin. De bodem onder Poolse dennenbossen houden meer water vast in vergelijking tot percelen met beuken of zilverspar ([Ilek, et al., 2015](#)).

Ook is bekend dat een verhoging van bodemorganische stof gehalte op reguliere landbouwgrond slechts een beperkt effect op het watervasthoudend vermogen ([Deltafact Bodemorganische stof](#)). Bosbodems hebben meer watervasthoudend vermogen dan minerale (landbouw)bodems door de vorming van humus en strooisellaag ([Kučera et al., 2020](#)). De bestaande voedselbossen in Nederland (en hun bodem) zijn nog jong in vergelijking tot natuurlijke bosbodems.

Kosten en Baten

In deze rubriek staan voorbeelden van sociaaleconomische aspecten die een rol spelen bij de afweging om meer bomen of bos aan te brengen in een waterlandschap. Het is geen systematische analyse van maatschappelijke kosten en baten.

Kosten van natuurbos en natuurontwikkeling in het stroomgebied

Bij herbebossingsprojecten in Nederland moet rekening gehouden worden met de aankoop van private (landbouw)grond waaraan een andere de publieke functie aan toegekend wordt ten bate van waterbeheer en/of natuurontwikkeling. Voor regionale overheden en natuurterreinbeheerders zal dit een grote investering zijn. Voorts zullen er kosten zijn die gerelateerd zijn aan de herinrichting (het dempen van sloten, afplaggen van oude landbouwgrond, etc.).

Naast aankoop van grond kan bosaanplant ook gerealiseerd worden door (samenwerkende) grondeigenaren te stimuleren tot een ander (bomenrijk) landgebruik te komen. Ook hieraan zijn kosten verbonden zoals de afwaardering van de landbouwgronden.

Baten van bos en natuurontwikkeling in het stroomgebied

De baten van dit type natuurontwikkelingsprojecten op stroomgebiedsniveau liggen in de publieke sfeer en kun je uitdrukken in [ecosysteemdiensten](#). De natuurontwikkeling of op natuur gebaseerde inrichting (nature based solutions, [natuurlijke klimaatbuffers](#)) vermindert de schade van hoge en lage rivierafvoeren, mede in het licht van klimaatverandering. Ook kunnen dit type projecten bijdragen aan het vastleggen van broeikasgassen die helpen bij het realiseren van de doelen van het klimaatakkoord ([Wösten et al., 2020](#)) of een bron van inkomsten kunnen zijn voor natuurontwikkeling, agrobosbouw of voedselbos (voedsel, hout, [CO₂-credits](#), biodiversiteit subsidies, recreatieve verdienmodellen).

Aanleg van nieuw bos is een zeer effectieve klimaatmaatregel, omdat bossen een relatief hoge jaarlijkse CO₂-vastlegging hebben ten opzichte van veel andere vormen van landgebruik. In een periode van 50 tot 60 jaar kan een bos gemiddeld 400 ton CO₂ per hectare accumuleren, een algemene richtlijn van de VBNE is dat in de

eerste 10 jaar na aanplant 4,6 ton CO₂/hectare/jaar wordt vastgelegd en daarna 9,1 ton CO₂/hectare/jaar. Uiteraard zijn er verschillen per boomsoort ([Boosten et al., 2020](#)) en kan de opname jaarlijks variëren. Op de vrije markt lag de maximale koolstofprijs in 2018 rond 5 € ton⁻¹ CO₂-eq (Hamrick and Gallant 2018) en bij Emissie Trading Systeem schommelt de prijs tussen 15 en 25 € ton⁻¹ CO₂-eq ([ETS 2019](#)).

Economische aspecten van agrobosbouw en voedselbos

Over de economische aspecten van agrobosbouw en voedselbos binnen de Nederlandse context is nog niet veel bekend, maar hier wordt in rap tempo steeds meer praktijkervaring mee opgedaan (zie hoofdstuk praktijkervaring) en de eerste onderzoeken hierover komen van de grond. Ook hier is de aanschaf van grond voor startende ondernemers in dit veld een grote kostenpost van gemiddeld zo'n €60.000 per hectare ([Nieuwe Oogst, 2020](#)). Agrarisch ondernemers die overschakelen van gangbare teelten naar agrobosbouw hebben deze kosten niet.

Bij voedselbos initiatieven kan ook een overheid (gemeente, waterschap) eigenaar zijn van de grond waarbij de mogelijkheid wordt geboden aan geïnspireerde burgers, stichtingen of verenigingen om grond te pachten met het doel om een voedselbos van de grond te krijgen. Het ontwerpen en het inplanten van een voedselbos vraagt ook een grote investering.

Net als bij de fruitteelt zal een voedselbos of agrobosbouw bedrijf niet meteen een maximale opbrengst hebben. Er is pas houtopbrengst wanneer er volwassen bomen zijn en de ontwikkeling van vruchten komt vaak pas later op gang. In de eerste jaren zullen de ondernemers ook alternatieve inkomsten moeten realiseren (rondleidingen, cursus aanbod, een baan ernaast). Het is de verwachting dat na 5 tot 10 jaar de volume opbrengsten serieuzere vormen gaan aannemen. Met andere woorden: bij het opstarten van een agrobosbouwbedrijf of een voedselbos dient men rekening te houden met een flinke aanlooptijd waarbij de inkomsten uit voedselproductie na circa vijf jaar op gang begint te komen. Fondsen zoals [het groen ontwikkelfonds](#) kunnen helpen om de startperiode te overbruggen bij het opstellen van een pachtovereenkomst. Bij het voedselbos Ketelbroek is het gelukt om het voedselbos rendabel te maken met voldoende inkomen voor de eigenaar. Er wordt met monitoring onderzocht of een volwaardig inkomen ook realiseerbaar is bij andere initiatieven ([Greendeal Voedselbossen, 2020](#)).

Governance

Het realiseren van bos en natuurontwikkeling in een stroomgebied waarbij er publieke baten gerealiseerd worden die verder gaan dan de gerealiseerde natuurwaarde vraagt een andere manier van gebiedsontwikkeling met verschillende succes- en faalfactoren ([Veraart et al., 2019](#)):

Succesfactoren

- Voortvarend omgaan met het klassieke innovatiedilemma: durf van start te gaan, bij beperkte beschikbaarheid van geëvalueerde projecten die bewijzen dat herbebossing daadwerkelijk significant bijdragen aan het waterbergend vermogen;
- Rekening houden met lokale wensen en het met consensus afwegen van economische baten van herbebossing/natuurontwikkeling;
- Wanneer een tweede partij, naast de natuurterreinbeheerder, een belang heeft om een klimaat en/of natuuropgave te combineren met bijvoorbeeld voedselproductie of waterbeheeropgave dan is dit een succesfactor.

Faalfactoren

- Regelgeving in relatie tot natuur of waterveiligheid (bijvoorbeeld Natura 2000) en financieringsritmes in het waterbeheer kunnen faalfactoren zijn. Het hoge marsritme binnen bijvoorbeeld het Hoogwaterbeschermingsprogramma kan ertoe leiden dat niet alleen geld maar ook tijd een beperkende factor is voor het realiseren van extra bos in een rivierengebied.

Ook bij Agrobosbouw en voedselbossen kunnen soortgelijke succes- en faalfactoren spelen. Voedselbos initiatieven zijn voorbeelden waar, met durf, het klassieke innovatie dilemma wordt aangepakt, in nieuwe samenwerkingsverbanden. Deze initiatieven bieden door hun bestaan de mogelijkheid om in de praktijk onderzoek uit te voeren. Naast voorspellen middels modelstudies kunnen we dan op termijn ook in kwantitatieve zin uitspraken doen over de effecten op de waterbalans.

Voorbeeld: Waterschap De Dommel stelt haar grond beschikbaar aan voedselbos initiatief [Den Food Bosch](#). Het kleine voedselbos heeft een educatieve functie en er wordt samengewerkt met de HAS Den Bosch. Waterschap De Dommel wil hiermee

de effecten van het voedselbos op beschikbaarheid van water voor landbouw, natuur én klimaatdoelen in beeld brengen. Daarnaast draagt dit project bij aan proactieve samenwerking van het waterschap met 'nieuwe' agrarische ondernemers, (belangen)verenigingen en onderwijs- en onderzoeksinstituten. Ook Waterschap Aa en Maas en Waterschap Rivierenland zijn betrokken bij experimenten met voedselbossen.

Praktijkervaringen, lopende initiatieven en onderzoek

Klimaatmaatregelen met toepassing van natuurlijke processen bij waterbeheer

Visies en plannen	
Bossenstrategie	Beleid in ontwikkeling. Rijk en provincies werken samen aan een Bossenstrategie voor Nederland in het Klimaatakkoord (2019). De Bossenstrategie zal medio 2020 klaar zijn. Aandachtspunten zijn: meer bos, vitaler bos, bomen buiten het bos, gebruik van het bos. Er zijn onder meer Webinars zijn gehouden over bomen in delta's en bomen in beekdalen.
Ruimte voor levende rivieren	Ruimte voor Levende Rivieren, is een uitnodiging aan alle partijen in het rivierengebied om samen meer ruimte te scheppen voor levende en klimaatbestendige rivieren zodat natuur kan floreren en mensen veilig kunnen wonen, werken en recreëren.
Tools	
KlimaatSlim bos- en natuurbeheer	Deze gereedschapskist biedt beheerders van bos, natuur en landschap concrete handvatten voor het uitvoeren van klimaatSlimme bos- en natuurbeheermaatregelen in Nederland.
Uitvoering/ projecten	
Natuurlijke klimaatbuffers	Klimaatbuffers zijn gebieden waar natuurlijke processen de ruimte krijgen. Hierdoor groeien ze mee met klimaatverandering, waar mens en natuur van profiteren. De coalitie Natuurlijke Klimaatbuffers (CNK) bestaat uit 8 natuurorganisaties. Wij realiseren met tal van partners klimaatbuffers om Nederland zowel veiliger als mooier te maken.

Landbouw met houtige gewassen

Landbouw met houtige gewassen (agroforestry) in Nederland kent de laatste jaren een toenemende belangstelling. Netwerken, samenwerkingsverbanden, projecten en onderzoek richten zich op het hele agroforestry spectrum van rijenteelt tot voedselbossen.

Overzichtskaarten online	
Voedselboskaart	Kaart van voedselbosinitiatieven en kwekers
Voedselbossen in Nederland	Kaart van voedselbossen volgens de definitie van de Green Deal Voedselbossen
Netwerken	
Green Deal Voedselbossen	Overheden, beleidsmakers, koplopers en faciliterende partijen hebben met de Green Deal Voedselbossen afgesproken dat zij zich in samenwerking inspannen om het areaal voedselbossen te helpen vergroten. <i>Waterschappen (Limburg en De Dommel) maken onderdeel uit van dit netwerk.</i>
Agroforestry netwerk Zuid-Nederland	Het ontwikkelen van agroforestry systemen in Zuid-Nederland door met agrarisch ondernemers kennis over dit onderwerp op de bouwen en ervaringen uit te wisselen. Centrale vraag daarbij is: hoe integreer je bomen op economisch verantwoorde wijze in een modern landbouwsysteem?
Uitvoering/ projecten	
Koepelplan Voedselbossen	Het Koepelplan voedselbossen is een maatschappelijk initiatief van Stichting Agroforestry Zuid-Nederland, de Brabantse Milieufederatie en verschillende Brabantse organisaties en overheden. Het driejarig programma wordt financieel mogelijk gemaakt door het Deltaplan Hoge Zandgronden, de Provincie Noord-Brabant, Stuurgroep Landbouw Innovatie Noord-Brabant, Waterschap De Dommel, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Brabantse Delta en Stichting Voedselbosbouw Nederland.
Stichting Voedselbosbouw Nederland	Stichting Voedselbosbouw Nederland ontwikkelt en exploiteert voornamelijk grootschalige (> 5 ha.) voedselbossen ten behoeve van een duurzame voorziening van behoeften aan onder meer lekker en gezond voedsel, een vitale natuur en een aantrekkelijk biodivers landschap.
Onderzoek	
Wetenschappelijke bodevorming onder de Voedselbosbouw	Een publiek private samenwerking (PPS) project in het kader van het topsectoren beleid. In dit project werken onderzoeksinstituten (WENR, NIOO), hogescholen (HAS Den Bosch, AERES-hogeschool Dronten), waterschappen (Aa en Maas, de Dommel), Regio Noord-Oost Brabant, Groen Ontwikkelfond Brabant, Provincie Flevoland en Stichting Voedselbosbouw Nederland samen aan onderbouwing van de beloften van voedselbossen. <i>Waterschap De Dommel en Waterschap Aa en Maas zijn medefinanciers van dit onderzoek.</i>
Nationaal Monitoringsprogramma Voedselbossen	Het Nationale Monitorings Programma Voedselbossen gaat over het langjarig gestandaardiseerd monitoren aan voedselbossen die volgens de definitie van de Green Deal Voedselbossen werken.
Meet je voedselbosooft	Een samenwerkingsverband van WENR, communicatiebureau de Lynx, The Plant, Landgoed Welna en maatschap Ketelbroek. Inzet is het ontwikkelen van zeer laagdrempelig en gratis toegankelijke (online)meettool voor voedselbossen.
Met Agroforestry naar klimaatbestendige landbouw en meer biodiversiteit	De kansen van agroforestry onderzoeken vanuit een Publiek-Private Samenwerking (PPS) tussen het ministerie van LNV en een consortium van akkerbouwers, SPIE Nederland, de Nederlandse Notenvereniging en Stichting Agroforestry Zuid-Nederland. De uitvoering ligt bij Wageningen Plant Research.

5. Bomen en Waterveiligheid (werking)

Werking

Bomen in het rivierengebied komen al van oudsher voor en hebben op of langs waterkeringen vaak een landschappelijke meerwaarde. Vaak komen bomenrijen voor, maar ook solitaire bomen op specifieke locaties hebben vaak een landschappelijke meerwaarde. Uit oogpunt van waterveiligheid, maar ook onderhoud en beheer van een waterkering zijn bomen echter lang niet altijd gewenst.

De werking en het effect van bomen op de waterveiligheid is reeds van oudsher bekend en in het verleden zijn er een aantal handleidingen van STOWA uitgebracht met betrekking tot bomen en beplanting op en nabij (verdroogde) boezemkaden ([STOWA, 2004](#)) en waterkeringen (zie hoofdstuk 5) ([STOWA, 2000a](#); [STOWA, 2000b](#)) waarvan de informatie nog steeds relevant is.

In het algemeen dienen bomen als niet waterkerende objecten beschouwd/behandeld te worden. De [Handreiking Constructief ontwerpen \(bijlage 4\)](#) (april 1994) gaat in op vrijwel alle aspecten die van belang kunnen zijn bij de aanwezigheid van bomen op of in de nabijheid van waterkeringen in relatie tot de waterveiligheid:

- Biologische aspecten, waaronder boomsoorten, de vorm van het wortelstelsel en de sterkte van het wortelstelsel;
- Invloed van bomen op waterkeringen, waarbij de volgende aspecten behandeld worden: belasting op de waterkering, ontgronding, grondgedrag, effect op waterspanningen/waterspanningsverloop en erosie bij bomen;
- De reststerkte van waterkeringen na falen Het gedrag in de tijd.

Zoals blijkt is de invloed van bomen op waterkeringen complex en van veel factoren afhankelijk zoals bijvoorbeeld de gezondheid en levensverwachting van bomen.

De belangrijkste faalmechanismen waar bomen invloed op kunnen hebben zijn:

1. Erosie; door schaduwwerking en het wortelstelsel zal gras onder bomen en stuiken minder goed groeien, waardoor de erosiebestendigheid vermindert. Ook kan rond bomen concentratie van stroming optreden waardoor meer erosie.

2. Macrostabilliteit; door windbelasting op bomen, kan er een extra belasting op een waterkering komen, die de stabiliteit negatief beïnvloed. Ook ontgrondingen (omgewaaide bomen) kunnen de stabiliteit negatief beïnvloeden. Beïnvloeding van de grondwaterstand heeft ook effect op de stabiliteit van een waterkering, dit kan zowel positief als negatief zijn.
3. Piping: dit is stroming van water en zand onder de dijk door. Het risico hierop kan door aanwezigheid van bomen, die met hun wortels door afsluitende deklagen heen dringen, vergroot worden. Ook ontgroning kan leiden tot een verkorting van de kwelweg en daarmee een groter risico op piping.

Naast negatieve beïnvloeding van de veiligheid van een waterkering, als gevolg van onder andere, extra windbelasting op de waterkering, erosie, mogelijkheid van ontgroning waardoor stabiliteitsverlies, of kwelwegverkorting in geval van piping, groter risico op erosie e.d., kunnen er ook positieve effecten zijn. Een voorbeeld zijn recente studies naar oeverbossen of buitendijkse wilgenbossen (grienden), die, naast dat zij in bepaalde gevallen voor opstuwing kunnen zorgen, een positief effect op stroming en golfaanval kunnen hebben ([Zhu, et al., 2020](#)). Dit wordt in de oudere handreikingen en leidraden niet behandeld. Onderzoeken hiernaar worden momenteel nog uitgevoerd.

In het kader van de wettelijke toetsingen van (primaire) waterkeringen en het daartoe uiteindelijk ontwikkelde WBI2017 (Wettelijk Beoordeling Instrumentarium) is een beoordelingssystematiek voor bomen, op en nabij waterkeringen, ontwikkeld. Het daarvoor opgestelde toets schema loopt van een eenvoudige beoordeling via een gedetailleerde beoordeling naar een toets oordeel op maat. Onderdeel van de gedetailleerde beoordeling is de daartoe ontwikkelde methodiek: [BomenT-fase3](#). Deze methodiek gaat ook in op het beheer van vegetatie op en nabij waterkeringen in het buitenland (zie ook [Hoffmans & Knoeff, 2012](#))

Voor regionale waterkeringen zijn veel veiligheidsaspecten identiek aan die van primaire waterkeringen, al zal in veel gevallen er een veel kleiner of geen risico op piping bestaan. Er zal ook veel minder vaak sprake van zijn dat bomen in de buitendijkse zone voorkomen. STOWA heeft veel relevante informatie over hoe om te gaan met bomen in relatie tot boezemkades ([STOWA, 2004](#)) en waterkeringen ([STOWA, 2000a](#); [STOWA, 2000b](#)).

Kosten en Baten

Bij bomen op en langs waterkeringen spelen vaak LNC-waarden een belangrijke rol. Vorm voor dijkbeheerders en het ontwerp van dijkversterkingen vormt dit vaak een belangrijke reden om zeer zorgvuldig om te gaan met het beleid ten aanzien van bomen in dergelijke situaties. Uitgezonderd oeverbossen en aanverwanten, zullen bomen in het algemeen een negatieve invloed hebben op de veiligheid van waterkeringen. In het ontwerp en/of beheer van een waterkering kunnen echter maatregelen getroffen worden waarmee de extra risico's voldoende ingeperkt worden.

Kosten hiervoor moeten worden afgewogen tegen de meerwaarde(n) vanuit LNC. Bij dijkverbeteringen zal vaak binnendijks ruimte geclaimd worden van eigenaren met mogelijk percelen bosgrond, karakteristiek (landschapsbepalende) bomen of bijvoorbeeld boomgaarden. Met onteigening van dergelijke gronden ten behoeve van dijkversterking zijn vaak hoge kosten gemoeid. Derhalve dient altijd zorgvuldig een kosten-baten analyse gemaakt te worden, waarbij het handhaven en of terugbrengen van de bestaande situatie mee beschouwd wordt en waarbij ook nieuwe mogelijkheden, bijvoorbeeld de aanplant van een boomgaard op een binnenberm, onderzocht worden.

Recente studies naar reductie van het risico op overstromingen door bomen middels oeverbossen e.d., tonen aan dat dit effectief kan zijn. Hiermee kunnen mogelijk kosten voor dijkversterking uitgespaard worden. Ook hiervoor geldt dat zorgvuldige afwegingen gemaakt dienen te worden waarbij alle bijkomende aspecten, zoals bijvoorbeeld beheer, onderhoud en opstuwing, beschouwd worden.

Er zijn derhalve verschillende situaties denkbaar, waarbij een kosten-baten analyse zowel positief als negatief uit kan vallen.

Governance

De normering van de veiligheid van de primaire waterkering is in Nederland vastgesteld door de overheid. Sinds januari 2017 gelden nieuwe normen. Ter beoordeling van de veiligheid is een Wettelijk Beoordeling Instrumentarium

vastgesteld (WBI2017). Tevens is er een Ontwerp Instrumentarium (OI2014) voor het ontwerpen van dijkversterkingen. In deze regelgeving is ook het beoordelen van niet waterkerende objecten (NWO's), waaronder bomen opgenomen.

De normering van regionale waterkeringen is in door Provinciale Staten vastgelegd in provinciale verordeningen voor regionale keringen. Het beheer en onderhoud van de waterkeringen, zowel primair, als regionaal wordt door de waterschappen uitgevoerd. De verschillende waterschappen hebben vaak hun eigen beleidsregels en beheer- en onderhoudsplannen ten aanzien van beplanting op en nabij waterkeringen. Een belangrijk aspect bij het beheer en onderhoud is in relatie tot waterveiligheid betreft de communicatie met bewoners/omwonenden, waar vaak minder begrip is voor bomenkap. Vaak zijn maatregelen of alternatieven mogelijk om aanwezige natuurwaarden te behouden of te compenseren.

Praktijkervaringen

In het algemeen zal de meeste ervaring ten aanzien van bomen op en nabij waterkeringen in relatie tot de waterveiligheid, beschikbaar zijn bij de beheerders van waterkeringen. Naar aanleiding van een zware storm (18 januari 2007) is een inventarisatie uitgevoerd welke schade is ontstaan aan waterkeringen door omgevallen bomen ([Frissel & Huiskes, 2007](#)).

Er zijn ook veel voorbeelden van monumentale bomen nabij een dijk die met speciale voorzieningen "gespaard" zijn, zoals een monumentale beuk in Nieuw-Lekkerland waar een dijk omheen is gelegd. Na dijkversterking ging de boom alsnog dood.

Lopende initiatieven en onderzoek

Er worden op dit moment studies naar de effecten van oeverbossen of buitendijkse wilgenbossen (grienden) uitgevoerd in het rivierengebied. Naast dat deze in bepaalde gevallen voor opstuwing kunnen zorgen, kunnen ze een positief effect hebben op stroming en golfaanval.

Daarnaast vindt in het kader van het programma: [BOI 2023](#) (RWS – Beoordeling en Ontwerp Instrumentarium 2023) doorontwikkeling plaats van het WBI2017 /

OI2014. Hieronder ook hoe om te gaan met Niet Waterkerende Objecten, waaronder bomen.

4. Kennisleemten

Bomen en watervasthoudend vermogen op stroomgebiedsniveau

- De verschillende componenten uit de hydrologische balans (figuur 2) worden beïnvloed door bomen, bos en agroforestry systemen blijkt uit verschillende studies. Echter, het is nog niet mogelijk om het relatieve belang van elke component (interceptie, infiltratie, verdamping, hydraulische lift) in iedere landgebruikssituatie goed in te schatten in verschillende landschappen met bijbehorende karakteristieke boomsoorten. In Nederlands stedelijk gebied wordt steeds vaker het Amerikaanse [model i-tree](#) gebruikt die hiertoe een inspiratie kan zijn. Ook is er onderzoek in voorbereiding om hiertoe de [waterwijzer landbouw](#) bij in te zetten;
- De opbouw van bodemorganische stof is een langdurig proces van tientallen jaren. Ook duidelijk dat in bomen gedomineerde landschappen dit waarschijnlijk sneller gaat dan in reguliere landbouwsystemen. Om gevoel te krijgen hoeveel sneller het gaat is meerjarig gestructureerd onderzoek nodig naar de relatie tussen bodemorganische stof en bodemleven, bodemdoorworteling en ontbrekende bodemverstoring door ploegen;
- Over de economische aspecten van agrobosbouw en voedselbos binnen de Nederlandse context is nog niet veel bekend, maar hier wordt in rap tempo steeds meer praktijkervaring mee opgedaan. Zaak is om deze kengetallen op landelijk niveau te verzamelen en te valideren.

Bomen en waterveiligheid

Met het oog op waterveiligheid is er ten aanzien van bomen en waterkeringen in het verleden al veel onderzoek uitgevoerd en vastgelegd in de daartoe beschikbare rapportages van STOWA en ENW. Op basis van de betreffende onderzoeken en regelgeving hebben waterschappen vaak hun eigen beleid vastgesteld ten aanzien van beplanting op en nabij waterkeringen.

Wat relatief nieuw is, zijn de ontwikkelingen met betrekking tot het probabilistisch beschouwen van het falen van een waterkering en het daadwerkelijk bepalen van de faalkans; zowel bij het beoordelen als versterken van waterkeringen.

Hier ligt nog een onderzoeksopgave, hoe op uniforme wijze hiermee omgegaan dient te worden.

Ten aanzien van erosie in het algemeen, maar ook juist bij aanwezige, niet waterkerende, objecten zoals bomen, ontbreken vooralsnog geschikte rekenmodellen. Gezien het feit, dat er een tendens is om, mede als gevolg van het beschouwen van de veiligheid van de dijk middels een (probabilistische) faalkansanalyse, hogere overslagdebieten te accepteren, wordt dit aspect, in combinatie met ontgrondingskuilen (bij windworp) en infiltratie, belangrijker.

Ook is er een tendens om, waar mogelijk toch beplanting op een waterkering te accepteren, ondanks dat effecten vaak negatief zijn. Echter met specifieke maatregelen, zoals bijvoorbeeld een extra grondlaag op dijkprofiel of de binnen berm, kunnen de extra risico's beperkt worden waarbij voldaan wordt aan de wettige veiligheidseisen. Zowel bij beoordelen als bij versterken van waterkeringen dienen dergelijke aspecten voldoende aandacht te krijgen. Mogelijk kunnen klimaatveranderingen (vernatting/verdroging/grotere extremen) in relatie tot de aanwezigheid van bomen op en nabij waterkeringen een rol spelen in de veiligheidsbeschouwing, maar is vermoedelijk niet heel relevant.

Zoals aangegeven kunnen buitendijkse bosschages en/of wilgenbossen een reducerende werking hebben op stroming en golfbelasting op een waterkering, hetgeen gunstig is voor de veiligheid.

Door aanwezigheid van dergelijke beplanting (oeverbossen) kan echter bovenstrooms opstuwing ontstaan, waardoor hogere waterstanden en derhalve een grotere belasting van de waterkering. Betreffende de werking en effecten van oeverbossen zijn de laatste jaren de nodige onderzoeken uitgevoerd en stappen gezet en wordt vervolgonderzoek uitgevoerd. De belangrijkste kennisleemtes die daarbij nog spelen zijn: generieke modellen voor golfreductie door flexibele vegetatie onder extreme belasting, faalmechanismes en krachtswerking, modelering van complexe vegetatie in numerieke modellen en ontwerprichtlijnen en regels voor combinaties van vegetatie (oeverbossen) en waterkeringen.

5. Bronnen en links

Adams, A., R. A. Bijlsma, G. Bos, S. Clerkx, J. Janssen, A. van Kleunen, W. Remmelts, N. van Rooijen, Schaminée, J., A. M. Schmidt, C. van Swaay, and S. Wijnhoven. 2020. [Vogel- en Habitatrichtlijnrapportage 2019](#). W. N. e. Milieu (ed.), Wageningen Environmental Research, Wageningen, p. 52.

Baptist, M. J., et al. (2019). [Een natuurlijkere toekomst voor Nederland in 2120](#). KennisBasis programma Biodiversiteit. Wageningen, Wageningen University & Research: 19p

Boosten, M., J. van den Briel, B. Lerink, V. Lokin, and M. J. Schelhaas. 2020. FACTSHEETS Klimaatmaatregelen met Bomen, Bos en Natuur - Praktische handreiking voor effectief klimaatslim bos- en natuurbeheer en toepassing van hout. Stichting Probos/WUR/Arboribus Silva, Wageningen.

D'Haene, K., S. Sleutel, S. De Neve, D. Gabriels, G. Hofman. 2009. [The effect of reduced tillage agriculture on carbon dynamics in silt loam soils](#). Nutrient Cycling in Agroecosystems 84: 249-265.

Ellison, D., et al. (2017). "[Trees, forests and water: Cool insights for a hot world](#)." Global Environmental Change 43: 51-61.

Espeleta, J. F., West, J. B. & Donovan, L. A., 2004. [Species-specific patterns of hydraulic lift in cooccurring adult trees and grasses in a sandhill community](#). Oecologia 138, 341-349.

Frissel, J. Y., Huiskes, H.P.J., 2007. [Schade aan waterkeringen door omgevallen bomen na de storm van 18 januari 2007 -Een enquête onder de Nederlandse Water- en Hoogheemraadschappen](#). Alterra-rapport 1481; Alterra, Wageningen, 2007
GDNK (2018) Methode voor vaststelling van emissiereductie CO₂-eq - CO₂-emissiereductie via verhoging grondwaterpeil in veengebieden ('Valuta voor Veen'), Greendeal Nationale Koolstof Markt,

Hamrick, K., and M. Gallant. 2018. Voluntary Carbon Market Insights: 2018 Outlook and First-Quarter Trends. Washington, USA.

Hiemstra, J. A. 2018. Groen in de stad: soortentabel. Brochure – Wageningen UR, <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/544261>. Bezocht op 08-07-2020.

Hiemstra, J. A., J. H. Spijker & S. de Vries. 2019. [De meerwaarde van groen in de stedelijke omgeving: Groen: meer dan mooi en gezond](#), Wageningen Plant Research, Factsheet.

Hoffmans, G., Knoeff, H., 2012. [Achtergrondrapportage Technisch deel VTV](#). Deltares/DHV rapport, 312 p.

Ilek, A., J. Kucza, M. Szostek. 2015. The effect of stand species composition on water storage capacity of the organic layers of forest soils. Eur J Forest Res 134: 187-197.

Kučera, A., P. Samec, A. Bajer, K. R. Skene, T. Vichta, Valerie Vranová, R. S. Meena, and R. Datt. 2020. [Forest Soil Water in Landscape Context](#). In: Soil Moisture Importance R. S. Meena & R. Datta (eds.), Mendel University in Brno, Czech Republic.

Keur, J., J. Selin Norén. 2020. [Factsheet Agroforestry: Klimaatcompensatie met agroforestry: wat is mogelijk? - Handreiking voor agrarisch ondernemers die bomen willen planten op hun bedrijf](#). Wageningen Research, Wageningen, p. 8.

Louis Bolk Instituut, 2020. Droogte speelt kruidenrijk grasland in de kaart. Veeteeltvlees (augustus 2020), p26-28.

Nieuwe oogst, 2020. Prijs agrarische grond stabiel, <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/05/01/prijs-agrarische-grond-stabiel>, Internet pagina bezocht op 21/08/2020.

Pardon, P. Reubens, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., Janssens, P., Verheyen, K., 2017. [Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems](#). Agriculture, Ecosystems & Environment 247: 98-111.

Rebisz S., 2019. [Exploring temperate food forestry as a sustainable land management practice: starting at the soil](#). A comparative case study assessing soil health at Food Forest Ketelbroek, forest nature reserve "De Bruuk" and a conventional farm in Groesbeek, the Netherlands. Master thesis Wageningen University, the Netherlands.

Rijkswaterstaat, 2014. [Vegetatielegger - een nieuw instrument dat bijdraagt aan een veilige doorstroming van de Nederlandse rivieren](#).

Steidinger, B.S., et al., 2019. [Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses](#). Nature volume 569, pages 404–408.

Shanstrom, N. (2014). "Tree Roots Improve Soil Infiltration Rates. ." Blog Green Infrastructure. Bezocht op 03-07-2020, 2020, via <http://www.deeproot.com/blog/blog-entries/how-trees-affect-soil-infiltration-rates>

Siepel, L., D. Velthuis, W. Zondergeld, W. Schimmel. 2018. [Voedselbos ketelbroek een zegen in de drup? Waterbalans van voedselbos ketelbroek](#). Van Hall Larenstein Velp, p. 51.

STOWA, 2000a. [Handleiding voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen](#). STOWA rapport 2000-04, STOWA, 71 p.

STOWA, 2000b. [Bomen op en nabij waterkeringen, achtergrondrapport](#). STOWA rapport 2000-06, STOWA, 140 p.

Taylor, M., Mulholland, M., Thornburrow, D. 2008. [Infiltration Characteristics of Soils Under Forestry and Agriculture in the Upper Waikato Catchment](#). Environment Waikato Technical Report 2009/18.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (heden ENW), 1994. [Handreiking Constructief Ontwerpen](#); Onderzoek en berekening naar constructief ontwerp van dijkversterking.

Teuling, A. J., C. M. Taylor, J. F. Meirink, L. A. Melsen, D. G. Miralles, C. C. van Heerwaarden, R. Vautard, A. I. Stegehuis, G.J. Nabuurs, J. V.-G. de Arellano. 2017. [Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests](#). Nat Commun 8: 14065-14065.

van Klink, A., M. Voesten, C. Copeland, A. Fogliato, J. Cruijssen, L. Franssen. 2018. Implementing agroforestry for watermanagement. Wageningen University, Wageningen, p. 36. ACT-team 2087 (ongepubliceerd student onderzoek).

Van Klink, A., Voesten, M., Copeland, C., Fogliato, A., Cruijssen, J., Franssen, L., 2018b. Agroforestry voor watermanagement. Nederlandse samenvatting van Implementing agroforestry for watermanagement. ACT-team 2087, Wageningen University (ongepubliceerd student onderzoek).

Vänttinen, Nabuurs, Finér, Laurén, Lehto & Tossavainen, 2010. [Forest-water Interactions in Europe, European Forest Institute](#). EFI Technical Report 30, 2010.

Veraart, J. A., J. E. M. Klostermann, M. Sterk, R. Janmaat, E. Oosterwegel, M. van Buuren, T. van Hattum. 2019. [Nederland inrichten met het principe van natuurlijke klimaatbuffers – de leerervaringen](#). Wageningen Environmental Research, Wageningen, p. 102.

Verdonschot, P. F. M., A. Besse, J. de Brouwer, J. Eekhout, R. Fraaije. 2012. [Beekdalbreed hermeanderen](#), STOWA-rapport 2012-36, Amersfoort.

Ward, P. J., H. Renssen, J.C.J.H. Aerts 2008. [Strong increase in the flood frequency of the River Meuse in response to Holocene and future climate and land use change: a new perspective for long-term modelling](#). Geophysical Research Abstracts - EGU General Assembly 2008 10.

Wösten, H., Brouwer, F., & Veraart, J. (2020). [Kansenkaart voor bescherming van koolstofvoorraad en CO2-emissiereductie in natte natuur en multifunctionele klimaatbuffers: Technische achtergrondmemo](#). (Wageningen Environmental Research rapport; No. 3003). Wageningen: Wageningen Environmental Research.

Zapater, M., C. Hossann, N. Bréda, C. Bréchet, D. Bonal, and A. Granier. 2011. [Evidence of hydraulic lift in a young beech and oak mixed forest using 18O soil water labelling](#). *Trees* 25: 885.

Zhu, Z., V. Vuik, P. J. Visser, T. Soens, B. van Wesenbeeck, J. van de Koppel, S. N. Jonkman, S. Temmerman, T. J. Bouma. 2020. [Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence](#). *Nature Sustainability*.

6. Colofon

Deze Deltafact is opgesteld door Deltares en Wageningen University & Research - Wageningen Environmental Research (augustus 2020), met medefinanciering uit WUR Kennisbasis programma KB-34-007-010 (Circulair en klimaatneutraal) en KB-35-007-002 (Voedsel en waterzekerheid)

Auteurs:

Jeroen Veraart (Wageningen Environmental Research)

Jeroen Kruit (Wageningen Environmental Research)

Peter Kraaijenbrink (Deltares)

DISCLAIMER

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.