

RAPPORT

Kansenkaart Nieuw bos in Beekdalen

Achtergrondrapport

Klant: STOWA, UvW, VBNE, Waterschap De Dommel

Referentie: BH9408WATRP211112

Status: Definitief/P01.00

Datum: 12 november 2021



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Larixplein 1
5616 VB Eindhoven
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 42 50 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Kansenkaart Nieuw bos in Beekdalen

Ondertitel: Kansenkaart Nieuw bos in Beekdalen
Referentie: BH9408WATRP211112
Status: P01.00/Definitief
Datum: 12 november 2021
Projectnaam: Nieuw bos in Beekdalen
Projectnummer: BH9408-101-100
Auteur(s): B.J.H.M. Possen, B. van Velthoven, M. Inckel

Opgesteld door: B.J.H.M. Possen, B. van Velthoven, M.
Inckel

Gecontroleerd door: T. Paternotte

Datum: 12 november 2021

Goedgekeurd door: M. Inckel

Datum: 12 november 2021

Begeleidingsgroep: R. Ruijtenberg (STOWA), A. van Houten (Unie van Waterschappen), R. Schippers (Waterschap De Dommel), Mark Brunsveld (VBNE), met medewerking van A. Balkema (Waterschap De Dommel), B. Knol (Waterschap Vechtstromen), T. Raats (Waterschap De Dommel), J. Lukensburg (Waterschap Brabantse Delta), D. Verhagen-Bakker (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), P. van Beers (Waterschap Vallei en Veluwe), B. Roothans (Waterschap Limburg), V. Mastwijk (Waterschap Rivierenland) en W. Wiersinga (OBN)

Financiën Deze studie is financieel mogelijk gemaakt door de STOWA, de Klimaatvelop 2021 in opdracht van het ministerie van LNV en het OBN Kennisnetwerk. De volgende partijen hebben een inhoudelijke bijdrage geleverd in de ontwikkeling van het eindproduct: Unie van Waterschappen, STOWA, VBNE, Waterschap De Dommel en de begeleidingsgroep.

Classificatie

Projectgerelateerd

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel, toepassing en reikwijdte	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Onderzoeksvragen en kennisregels	3
2.1	Onderzoeksvragen	3
2.2	Literatuuronderzoek	4
2.3	Kennisregels	4
2.4	Digitale kansenskaarten	5
3	Beantwoording onderzoeksvragen	9
3.1	Algemene inleiding	9
3.2	De deelvragen	12
3.2.1	Abiotiek van bossen in beekdalen	12
3.2.2	Wat zijn vanuit de Kaderrichtlijn Water opgaven de beste mogelijkheden voor nieuw bos?	15
3.2.3	Wat zijn vanuit (grond)waterkwaliteit de beste mogelijkheden voor nieuw bos en hoe dragen deze bij aan het verbeteren van de kwaliteit en hoeveelheid?	18
3.2.4	Wat zijn vanuit de watervoorziening de beste mogelijkheden voor nieuw bos?	22
3.2.4.1	Infiltratie	22
3.2.4.2	Verdamping	24
3.2.5	Wat zijn vanuit het voorkomen van wateroverlast de beste mogelijkheden voor nieuw bos?	30
3.2.6	Wat zijn vanuit waterveiligheid de beste mogelijkheden voor nieuw bos?	32
3.2.7	Op welke plekken leveren de verschillende bostypen het meeste op voor de biodiversiteit?	33
3.2.8	Welk type bos levert het meest op qua vastlegging koolstof?	35
3.2.9	Waar liggen nog opgaven vanuit Natuurnetwerk Nederland die nog ingevuld moeten worden?	37
3.2.10	Wat zijn de 'slechtste gebieden' vanuit de opgaven gezien om bos te ontwikkelen?	38
3.2.11	Welk effect hebben nieuw bos en bomen op de kosten voor beheer en onderhoud door de waterschappen?	39
3.3	Overzicht van de kennisregels	41

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

4	Kennislacunes en onderzoeksvragen	43
	Referenties	44

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Nationale Bossenstrategie¹, waarvoor de Brabantse Bossenstrategie (Provincie Noord-Brabant 2020a)² een belangrijk voorbeeld is geweest, doet recht aan de waarde die vitale bossen hebben voor biodiversiteit, schoon water, schone lucht en droogtebestrijding en plaatst die waarden in de context van onder meer klimaatadaptatie. In zekere zin plaatst de Nationale Bossenstrategie de ecosysteemdiensten die bossen kunnen leveren weer centraal. Daarbij is ze ook een oproep aan alle partijen om na te gaan in hoeverre zij bij kunnen dragen aan het daadwerkelijk in het veld verwezenlijken van de toch ambitieuze strategie. Onder meer waterschappen, maar ook private bos- en natuureigenaren horen daarbij.

Ook onder de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn bossen belangrijk: niet alleen vanuit de doelstellingen gerelateerd aan oppervlaktewater (bijvoorbeeld beschaduwning in relatie tot watertemperatuur), maar ook vanuit de doelstellingen gerelateerd aan grondwater. Zo stelt de Kaderrichtlijn Water ook dat de invloed van grondwater op “van grondwater afhankelijke terrestrische ecosystemen” in beeld gebracht moet worden, met behulp van monitoringmeetnetten voor zowel grondwaterkwantiteit als –kwaliteit (chemische samenstelling). Ook hierin spelen bossen een rol, bijvoorbeeld door het beter laten infiltreren en langer vasthouden van water; een extra raakvlak van bossen met het dagelijks werk van de waterbeheerders, bijvoorbeeld waterschappen

Maar, wat is dan de beste plek voor nieuw bos? Waar kan het zijn werk het beste doen? En welke bijdrage wordt dan geleverd? Wat levert het op? Door op die vragen een antwoord te geven en die antwoorden te vertalen naar een “kansenskaart” wordt het makkelijker om het gesprek over bossen in relatie tot waterbeheer objectief te voeren. Voorliggende rapportage, een samenwerking tussen STOWA, Unie van Waterschappen (UvW), de Vereniging van Bos en Natuureigenaren (VBNE), Waterschap De Dommel en Royal HaskoningDHV levert een mooie basis voor zo’n gesprek.

1.2 Doel, toepassing en reikwijdte

Deze rapportage is primair bedoeld om het gesprek over de mogelijkheden van nieuw bos in beekdalen voor waterbeheerders te faciliteren en te voeden met objectieve gegevens. Daarom wordt de volgende centrale vraag beantwoord:

“Welke mogelijkheden liggen er voor het ontwikkelen van nieuw bos in een beekdallandschap / stroomgebied en hoe draagt dit bij aan de verschillende deelopgaven van de waterbeheerders?”

Die vraag is verdeeld in een aantal meer specifieke vragen (deelvragen) die raken aan de verschillende opgaven waar waterbeheerders, voor deze rapportage met name waterschappen, voor staan. Voor elk van die vragen zijn op basis van literatuur “kennisregels” uitgewerkt, die handvatten geven waarmee bepaald kan worden waar nieuw bos de grootse bijdrage levert aan de opgaven. De kennisregels zijn zo opgesteld, dat ze eenvoudig vertaald kunnen worden naar kaartbeelden; de kansenskaart.

Eindresultaat is een kansenskaart per opgave (deelvraag) voor de beekdalen in het gehele stroomgebied van de Dommel, met een doorkijk naar andere beekdalen of stroomgebieden op de Nederlandse zandgronden. De nadruk ligt gegeven de vraag sterk op beekdalen (het *beekdallandschap* in deze

¹ Bos voor de toekomst, bijlage bij kamerbrief “Uitwerking ambities en doelen landelijke Bossenstrategie en beleidsagenda 2030”; DGNVLG-SK / 20274438 d.d. 18 november 2020

² Statenmedeling 28 januari 2020, documentnummers GS: 4639886, PS: 4647081

rapportage. Zie ook het kader “Verklarende woordenlijst”), handvatten voor andere fysisch geografische regio’s zijn waar mogelijk niet vergeten in de definitie van de kennisregels.

Overigens worden de kaarten niet gestapeld tot één overkoepelende kansenkaart. Niet alleen kunnen de (beleid)speerpunten van de individuele waterbeheerders verschillen -daar moet ruimte voor zijn- ook hangt het van de opgave af waar nieuw bos daadwerkelijk een bijdrage kan leveren en waar niet. Deze rapportage bevat dan ook de uitwerking van de basisprincipes, vertaald naar objectieve, navolgbare kennisregels, aan de hand waarvan de kansenkaart opgebouwd kan worden. Concreet gaat het om de beantwoording van de aan deze rapportage meegegeven deelvragen (de opgaven; meer daarover in hoofdstuk 0) met behulp van literatuuronderzoek.

Het resultaat is *niet* één kaart met daarop “*de beste plekken voor nieuw bos*”. Dat zou geen recht doen aan het open gesprek waaraan die kaart een bijdrage mag leveren. Bovendien is het aan de individuele waterbeheerder om de accenten in het beleid te zetten en daarmee om de ene opgave zwaarder te laten wegen dan de andere. Dat heeft zoals gezegd invloed op de vraag welke gebieden het meest geschikt zijn. Zo blijft ruimte om zelf te kiezen welk gewicht aan elk van de opgaven wordt toegekend. De insteek is: “*Waar past bos het beste, gezien door de bril van de betreffende opgave*”. Ofwel: Als basis voor een gesprek over de plekken waar bos een bijdrage kan leveren aan de (maatschappelijke) opgaven die invulling moeten vinden op een gegeven plek.

Deze rapportage dient als verantwoording van de digitale kansenkaarten. Een naslagwerk, zeggend, dat gebruikt kan worden als het gesprek daarom vraagt. De kennisregels spelen daarin een centrale rol, omdat ze volgen uit de beschikbare literatuur en in die zin objectief zijn en niet afhankelijk van diegene die aan dit achtergrondrapport werkten.

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding volgt in het tweede hoofdstuk de vastlegging van de aan deze rapportage meegegeven onderzoeksvragen en de manier waarop deze zijn vertaald naar kennisregels. De beantwoording van de meegegeven onderzoeksvragen is gevat in het derde hoofdstuk, waar ook de kennisregels zijn verankerd. In het laatste hoofdstuk is aandacht voor kennislacunes en vervolgonderzoek.

2 Onderzoeksvragen en kennisregels

2.1 Onderzoeksvragen

Aan dit onderzoek zijn door de Unie van Waterschappen, STOWA, de Vereniging van Bos en Natuureigenaren (VBNE) en Waterschap De Dommel op voorhand een tiental deelvragen meegegeven, die raken aan de opgaven waarvoor waterbeheerders -met name waterschappen- zich gesteld zien:

- 1 Wat zijn vanuit de opgaven van de KRW³ de beste mogelijkheden voor nieuw bos en bomen? En hoe draagt dit bij aan het realiseren van de KRW-doelen?
- 2 Wat zijn vanuit (grond)waterkwaliteit in algemene zin de beste mogelijkheden voor nieuw bos en hoe dragen deze bij aan het verbeteren van de kwaliteit en hoeveelheid?
- 3 Wat zijn vanuit de watervoorziening de beste mogelijkheden voor nieuw bos (onder andere locaties en type bos)?
- 4 Wat zijn vanuit het voorkomen van wateroverlast de beste mogelijkheden voor nieuw bos (onder andere locaties en type bos)?
- 5 Wat zijn vanuit waterveiligheid de beste mogelijkheden voor nieuw bos (onder andere locaties en type bos)?
- 6 Op welke plekken leveren de verschillende bostypen (broekbossen, vochtige bossen, droge bossen) het meeste op voor de biodiversiteit? Wanneer versterken ze het ecosysteem van het beekdallandschap het meest?
- 7 Welk type bos levert het meest op qua vastlegging koolstof?
- 8 Waar liggen nog opgaven vanuit Natuurnetwerk Nederland die nog ingevuld moeten worden? En breder, waar liggen opgaven voor hydrologische herstel rond Natura 2000 en herstel van verdroogde gebieden?
- 9 Wat zijn de 'slechtste gebieden' vanuit de opgaven gezien om bos te ontwikkelen?
- 10 Welk effect hebben nieuw bos en bomen op de kosten voor beheer en onderhoud door de waterschappen? Denk daarbij met name aan nieuwe bomen/bos langs waterlopen.

Standplaatsen van bossen

Daarbovenop is het ook van groot belang om de randvoorwaarden die de verschillende bostypen aan hun omgeving stellen eenduidig in beeld te brengen. Immers, beekbegeleidend bos vraagt bijvoorbeeld andere grondwaterstanden in vergelijking met vochtige of droge bossen (Bal 2001; Ertsen et al. 2005; Van der Burg et al. 2014, 2016). Vaak hoort daar ook een ander bodemtype bij. Ze vragen om andere standplaatsen, een andere abiotiek. Abiotiek -al dan niet na het nemen van herstel- of ontwikkelmaatregelen- bepaalt dan ook in betekende mate de kansrijkdom. Die informatie is essentieel om een zo scherp mogelijke kansenkaart te kunnen vervaardigen. Wat die standplaatsen zijn -welke bos groeit het best op welke plaats- is daarom uitgewerkt voordat de andere vragen beantwoord worden.

³ Kaderrichtlijn Water

2.2 Literatuuronderzoek

Om de aan deze rapportage meegegeven deelvragen te kunnen beantwoorden en om deze te kunnen vertalen naar kennisregels, is gebruik gemaakt van literatuuronderzoek. Dat onderzoek heeft zich met name gericht op relevante experimenten met betrekking tot de water- en koolstofhuishouding van bossen, bij voorkeur (maar zeker niet uitsluitend) zogenoemde review-artikelen. Dat zijn als het ware kennisoverzichten, waarin verschillende onderzoeksresultaten in samenhang worden beschouwd en op waarde worden geschat. Door deze informatie te koppelen met, bijvoorbeeld, algemene gegevens met betrekking tot neerslag en verdamping (e.g. KNMI 2011, 2021), kunnen te verwachten effecten van nieuw bos in beekdalen zo kwantitatief mogelijke worden beschreven.

Verder heeft de literatuurstudie zich gericht op het achterhalen van bestaande voorbeelden. Daarbij heeft de focus uiteraard gelegen op de voor Nederland relevante literatuur, met een blik over de grens naar vergelijkbare systemen. Gestart is met de bekende literatuur voor elk van de deelvragen, waarna met behulp van het welbekende citatie- en sneeuwbal-zoeken (respectievelijk vooruit in de tijd door na te gaan welke nieuwere bronnen aan het artikel refereren en achteruit in de tijd door te bezien aan welke relevante bronnen het betreffende artikel refereert) gezocht is naar de meest recente literatuur om al doende over de meest recente inzichten te komen.

In hoofdstuk 2.4 worden deze vragen elk in een afzonderlijke paragraaf beantwoord.

2.3 Kennisregels

Om tot een kansenkaart te komen, is het nodig om de schriftelijke informatie uit de literatuur om te zetten naar een kaart-laag die gebruikt kan worden om de kansenkaart in te vullen. Dat gebeurt met behulp van “kennisregels”; een set aan feiten die het mogelijk maakt om in beginsel goede plekken voor nieuw bos op kaart te alloceren, rekening houdend met abiotiek, landschapsecologische positie en waar mogelijk omgevingsfactoren als landgebruik. Elk van de vragen sluit af met een kennisregel, aan de hand waarvan die vraag meegenomen kan worden in het vervaardigen van de kansenkaart. Of juist weggelaten, wanneer de vraag voor de betreffende waterbeheerder niet van toepassing is of minder relevant is in het dagelijks werk.

Kennisregels - principe uitwerking

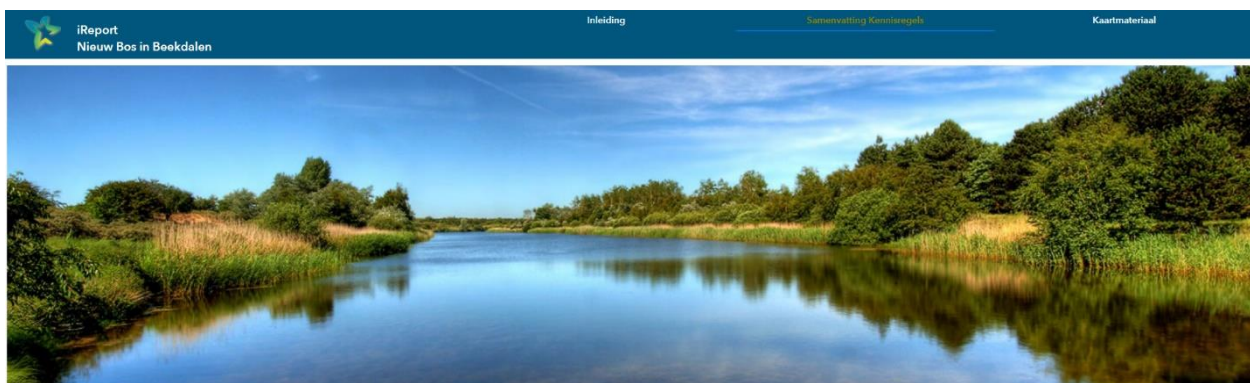
Waar denken we aan als we schrijven “*kennisregels*”? Daarmee bedoelen we een set aan feiten die het mogelijk maakt om de verschillende bostypen op kaart te alloceren. Als we beekbegeleidende bossen als voorbeeld nemen zouden de kennisregels er als volgt uit kunnen zien:

- Laag abiotiek
 - Gemiddeld Voorjaars Grondwaterstand 20 - -20 cm beneden maaiveld
 - Gemiddeld Laagste Grondwaterstand 40-80 cm beneden maaiveld
 - Kwelafhankelijk Ja, aangerijkt
- Landschapsecologische positie
 - Kwelgebied, niet intrekgebied
- Ecosysteemdienst
 - Voorkomen en vertragen van piekafvoer
 - Waterzuivering
 - Weinig bijdrage aan infiltratie, grote bijdrage aan water vasthouden.

2.4 Digitale kansenkaarten

Het bijbehorende ruimtelijke beeld -de kansenkaarten- komt in dit rapport niet terug. Al was het maar omwille van iets eenvoudigs als leesbaarheid. Niet voor niets is gekozen voor een digitale kansenkaart.

Die kaart vindt u [hier](#), als onderdeel van een viewer. Naast de kansenkaarten is in de viewer een korte inleiding opgenomen, waarin achtergrond en vraagstelling worden toegelicht. Daarna is voor elke deelvraag de kennisregel met bijbehorende onderbouwing in de viewer samengevat, uiteraard een samenvatting van de tekst in deze rapportage.



Samenvatting Kennisregels

Door op de figuren en tabellen te klikken beland je op een aparte pagina met verdere achtergrondinformatie per kennisregel.
Deze informatie is ook te vinden in het achterliggende rapport.

De viewer kent twee onderdelen:

- Waterschap De Dommel
- Hoge zandgronden

Beide onderdelen verschillen noodzakelijkerwijs in detailniveau: de detailinformatie die nodig is om het ruimtelijke beeld op te bouwen is wél beschikbaar voor het werkgebied van een waterschap, in dit geval waterschap De Dommel, maar ontbreekt op het abstractieniveau van de fysisch geografische regio Hoge zandgronden. Dat heeft er niet alleen toe geleid dat andere bronnen gebruikt zijn voor de beide onderdelen, maar ook dat niet alle deelvragen naar een passend kaartbeeld konden worden vertaald voor de Hoge zandgronden. Welke bronnen zijn gebruikt en welke bewerkingen (op hoofdlijnen) zijn uitgevoerd om tot de kaartbeelden te komen, is voor het onderdeel Waterschap De Dommel opgenomen in tabel 2-1 en voor de Hoge zandgronden in tabel 2-2. De achterliggende bronnen zijn opgenomen in tabel 2-3.

Tabel 2-1 De voor het onderdeel Waterschap De Dommel per kennisregel gebruikte gegevens (data) en daarop uitgevoerde bewerkingen. - : kennisregel is niet vertaald naar een kaartbeeld (voor verantwoording zie hoofdstuk 3).

Kennisregel	Gebruikte data Viewer De Dommel	Bewerking
1. Abiotiek	GXG's Domingomodel AHN 3 50cm maaiveld	GXG's omgezet naar meter t.o.v. maaiveld m.b.v. AHN 3 Clip o.b.v. range vastgesteld in kennisregel
2. Kaderrichtlijn Water	HOW-shape Waterschap De Dommel	M-typen uit shape gehaald Gekleurd o.b.v. % beschaduwing
3. Grondwaterkwaliteit	BRP 2020 BGT 2020 Kwel en infiltratie Domingomodel NNB	Bepaling intrekgebied en beekdal o.b.v. kwel en infiltratiekaart Selectie landbouwgrond o.b.v. BRP definitie "Bouwland" Clip landbouwgrond voor intrekgebied en beekdal Bepaling natuurgrond door combinatie NNB, natuurgrond uit BRP en natuur uit BGT
4. Watervoorziening	BRP 2020 BGT 2020 Kwel en infiltratie Domingomodel	Bepaling intrekgebied o.b.v. kwel en infiltratiekaart Selectie maïs uit BRP Selectie naaldbos uit BGT Selectie grasland o.b.v. BRP definitie "Grasland" Bepaling natuurgrond door combinatie NNB, natuurgrond uit BRP en natuur uit BGT (m.u.v. bos) Clip lagen o.b.v. intrekgebied
5. Wateroverlast	Kwel en infiltratie Domingomodel BRP 2020 BGT 2020	Begrenzing beekdal en flank o.b.v. Kwel en infiltratiekaart Selectie akkerbouw uit BRP Selectie grasland o.b.v. BRP definitie "Grasland" Bepaling natuurterrein uit BRP en natuur uit BGT (m.u.v. bos) Clip lagen o.b.v. begrenzing beekdal en flank
6. Waterveiligheid	Kernzone en beschermingszones	Geen
7. Biodiversiteit	NNB - beheertypen BGT 2020	Selectie bostypen uit NNB Selectie bossen uit BGT (loofbos, naaldbos en gemengd bos) Buffer van 25m rond alle gebieden, alle nu overlappende gebieden samenvoegen tot één cluster Buffer van 400m rond alle clusters >15 ha Gebieden binnen 1,5km met elkaar verbinden
8. Koolstof	-	
9. Natuurnetwerk	NNB – ambitietypen NNB – beheertypen Natte Natuurparels	Selectie nog in te vullen stukken NNB Selectie NNB met ambitie bos Combineren selectie nog om te vormen stukken NNB met selectie ambitie bos
10. Slechte gebieden	-	-
11. Beheerkosten	-	-

Tabel 2-2 De voor het onderdeel Hoge zandgronden per kennisregel gebruikte gegevens (data) en daarop uitgevoerde bewerkingen.
- : kennisregel is niet vertaald naar een kaartbeeld vanwege het ontbreken van gegevens voor de fysisch geografische regio of een ontoereikend detailniveau van de gegevens die wel beschikbaar zijn (bijvoorbeeld Abiotiek)..

Kennisregel	Gebruikte data Viewer Hoge zandgronden	Bewerking
1. Abiotiek	Door rekencelgrootte niet mogelijk om een kwalitatief voldoende genuanceerd beeld te kunnen geven	
2. Kaderrichtlijn Water	-	
3. Grondwaterkwaliteit	BRP 2020 BGT 2020 Kwel en infiltratie Landelijk Hydrologisch Model NNN	Bepaling intrekgebied en beekdal o.b.v. kwel en infiltratiekaart Selectie landbouwgrond o.b.v. BRP definitie "Bouwland" Clip landbouwgrond voor intrekgebied en beekdal Bepaling natuurgrond door combinatie NNN, natuurgrond uit BRP en natuur uit BGT
4. Watervoorziening	BRP 2020 BGT 2020 Kwel en infiltratie Landelijk Hydrologisch Model	Bepaling intrekgebied o.b.v. kwel en infiltratiekaart Selectie maïs uit BRP Selectie naaldbos uit BGT Selectie grasland o.b.v. BRP definitie "Grasland" Bepaling natuurgrond door combinatie NNN, natuurgrond uit BRP en natuur uit BGT (m.u.v. naaldbos) Clip lagen o.b.v. intrekgebied
5. Wateroverlast	Kwel en infiltratie Landelijk Hydrologisch Model BRP 2020 BGT 2020	Begrenzing beekdal en flank o.b.v. Kwel en infiltratiekaart Selectie akkerbouw uit BRP Selectie grasland o.b.v. BRP definitie "Grasland" Bepaling natuurterrein uit BRP en natuur uit BGT Clip lagen o.b.v. begrenzing beekdal en flank
6. Waterveiligheid	Waterkeringen	Geen
7. Biodiversiteit	NNN - beheertypen BGT 2020	Selectie bostypen uit NNN Selectie bossen uit BGT (loofbos, naaldbos en gemengd bos) Buffer van 25m rond alle gebieden, alle nu overlappende gebieden samenvoegen tot één cluster Buffer van 400m rond alle clusters >15 ha Gebieden binnen 1,5km met elkaar verbinden
8. Koolstof	-	
9. Natuurnetwerk	NNN – beheertypen	Selectie nog in te vullen stukken NNN
10. Slechte gebieden	-	
11. Beheerkosten	-	

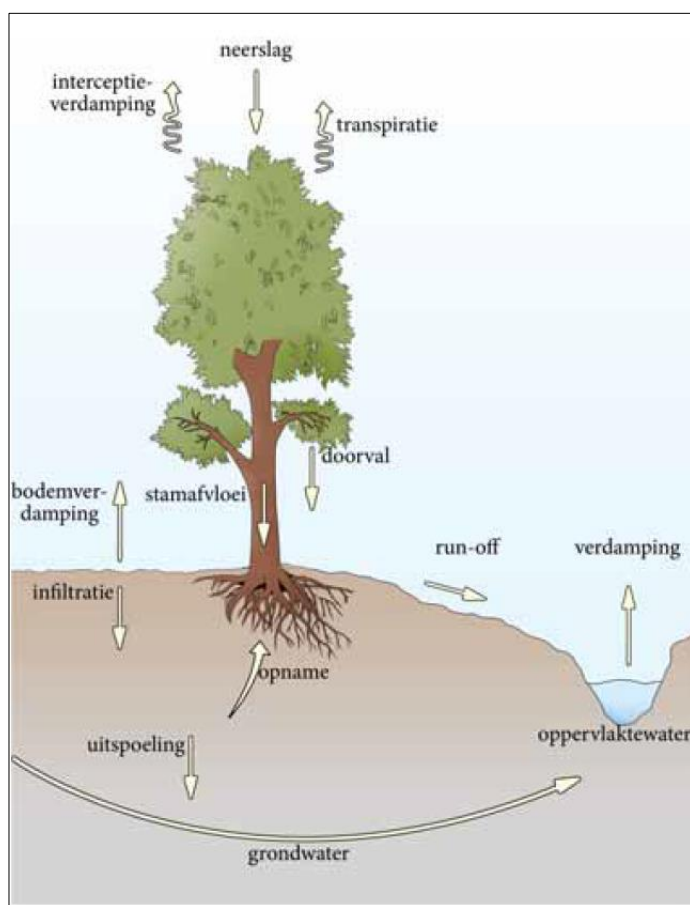
Tabel 2-3 Herkomst van de voor het maken van de kansenkaarten gebruikte gegevens.

Data	Herkomst
BRP 2020	https://services.arcgis.com/nSZVuSZjHpEZZbRo/arcgis/rest/services/BRP_2020/FeatureServer
BGT 2020	https://basisregistraties.arcgisonline.nl/arcgis/rest/services/BGT/BGT_objecttypen/FeatureServer
NNB/NNN Beheertypen	https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/subsidiestelsel-natuur-en-landschap/het-natuurbeheerplan/
NNB Ambitietypen	https://atlas.brabant.nl/data_download/shapes/61045cd7-5686-4608-aeab-b50fe000511b.zip
Natte Natuurparels	Via https://data.overheid.nl/en/dataset/5471-natuurbeheerplan--natte-natuurparels#panel-resources
Kernzone en beschermings- zones	https://dommel.webgispublisher.nl/Viewer.aspx?map=Legger-waterkeringen-2020-(vastgesteld)#
Waterkeringen	https://service.pdok.nl/hwh/keringenimwa/wms/v1_0?request=GetCapabilities&service=WMS
Data Domingomodel	Waterschap De Dommel
Data Landelijk Hydrologisch Model	https://data.nhi.nu/
Waterschaps- grens	https://services.arcgis.com/nSZVuSZjHpEZZbRo/arcgis/rest/services/Waterschapsgrenzen/FeatureServer
AHN3 50cm maaiveld	https://ahn.arcgisonline.nl/arcgis/services/Hoogtebestand/AHN3_i/ImageServer
KRW- waterlopen	https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/WKP.WebApplication/Beheer/Data/Publiek?viewName=Bronbestanden&year=2020&month=December
HOW-trajecten	Waterschap De Dommel
A-watergangen	Waterschap De Dommel
Waterberging VR	Waterschap De Dommel

3 Beantwoording onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk komen de vooraf meegegeven onderzoeksvragen, met daaraan toegevoegd de abiotiek van de verschillende bostypes, volgordelijk aan bod. Hierbij is de insteek steeds om inzichtelijk te maken welk bos waar de grootste bijdrage levert aan de verschillende deelopgaven van (water)beheerders. Omwille van de leesbaarheid van navolgende paragrafen, die vaak gaan over hoe de hydrologie van bossen en het (regionale) hydrologische systeem elkaar beïnvloeden, wordt eerste een vereenvoudigd beeld geschetst van de waterbalans van een bos (Figuur 3-1). De belangrijkste termen zijn opgenomen in het kader “Verklarende woordenlijst”.

3.1 Algemene inleiding



Figuur 3-1 Schematische waterbalans van een boscysteem. Uit Den Ouden (2011). De neerslag wordt voor een deel via verdamping (transpiratie en interceptie) teruggeven aan de atmosfeer en voor een deel bereikt deze de grond, waar het dan wel oppervlakkig afstroomt richting het oppervlaktewater, ofwel infiltreert richting het grondwater.

oppervlaktewater, bijvoorbeeld via oppervlakkige afstroom van regenwater (run-off). Figuur 3-2 illustreert die samenhang op een hoger schaalniveau; het beekdallandschap.

Figuur 3-2 schetst daarmee ook een eerste beeld van de bijdrage die bossen kunnen leveren aan bijvoorbeeld het doen afnemen van piekafvoeren door vertragen en vasthouden van water en daarmee tegelijkertijd het aanvullen van de grondwatervoorraden. In termen van de Europese richtlijn

Belangrijkste bronnen van water voor bossen zijn neerslag en grondwater, waarbij een deel van het regenwater infiltreert en onderdeel wordt van het grondwater.

Niet al het neerslagwater bereikt het grondwater: een deel verdamt vanaf het bladerdek (interceptieverdamping; Moors et al. (1996)), maar ook vanuit de bodem verdamt een deel (bodemverdamping; Barkman & Stoutjesdijk (1987)). Eenmaal op de bodem, stroomt een deel van de neerslag af richting het oppervlaktewater (run-off). Een vegetatiedek bemoeilijkt dit proces en dwingt tot infiltratie (Den Ouden 2011).

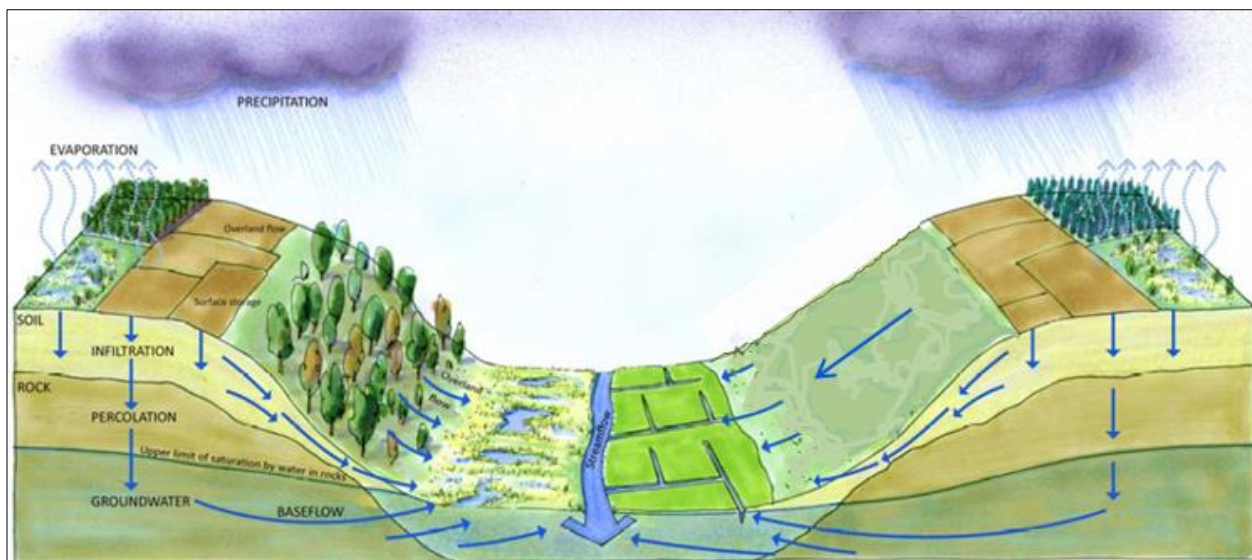
Wat overblijft, infiltreert. Het geïnfiltreerde water wordt deels door bomen (en andere planten) verdamt via transpiratie, een proces dat onlosmakelijk verbonden is met fotosynthese (de manier waarop planten en bomen aan hun energie komen uit water, zonlicht en koolstofdioxide (e.g. Lambers et al. 1998; Larcher 2003; Moors 2012)).

Verschillende delen van de in figuur 3-1 schematisch weergegeven waterbalans komen in de deelvragen in meer detail aan de orde.

Figuur 3-1 laat zien dat in beginsel een relatie bestaat tussen landgebruik en het

overstromingsrisico's gaat het dan om “preventieve” maatregelen. Dat zijn maatregelen die toezien op het bevorderen van een passend gebruik van land.

“Proof of principle” komt uit Brits onderzoek (Quinn et al. 2011; Forbes et al. 2015). Zij laten zien dat 30 kleine maatregelen, genomen verspreid in heel het beekdal, bijdragen aan een afname van piekafvoeren met ten minste 35 procent.



Figuur 3-2 Waterstromen in een meer natuurlijk (links) en een in cultuur gebracht beekdal (rechts). Uit van Deursen et al. (2013)

Verklarende woordenlijst

Beekdal	Voor deze rapportage is een beekdal “het gebied tussen twee waterscheidingen, waar de beek de drainagebasis vormt”. Ofwel: het beekdallandschap. Dit is breder dan de natte terreinen die direct grenzen aan de beek of onder invloed van de beek staan.
Biodiversiteit	De graad voor de verscheidenheid aan dier- en plantensoorten die zich in een ecosysteem bevinden. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen taxonomische en functionele diversiteit. Bij taxonomische diversiteit wordt er gekeken naar de verschillende soorten, bij functionele diversiteit wordt er gekeken naar welke rol of functie deze soorten vervullen in een ecosysteem. Dat laatste is hier leidend gebruikt, omdat het goed past bij de ecologische theorie van bijvoorbeeld voedselwebben (Odum 1971; Townsend et al. 2000).
Evapotranspiratie	Evapotranspiratie is de som van evaporatie (verdamping) en transpiratie.
Interceptieverdamping	Verdamping van neerslag direct vanaf het bladerdek
Lysimeter	Inrichting waarmee de invloed van plantengroei op de waterhuishouding van de bodem wordt onderzocht
Natuurlijk bos	Een gebied van minimaal 0,5 hectare met bomen die minimaal 5 meter hoogte, of bomen die in situ deze hoogte kunnen bereiken. Een natuurlijke bos wordt verder gedefinieerd als een natuurlijk geregenereerd bos met inheemse soorten zonder zichtbaar ingrijpen van de mens (volgens Global Forest Resources Assessment (FRA)).
Neerslagoverschot	Verschil tussen neerslag en verdamping
Transpiratie	Verdamping van water via de huidmondjes van planten
Verdamping	Overgang van vloeibaar water naar waterdamp en transport daarvan vanaf het verdampend oppervlak naar de atmosfeer
Waterbalans	Optelsom van alle inkomende en uitgaande waterstromen
Waterverbruik	Hier gedefinieerd als de som van interceptie en verdamping door bomen, ofwel evapotranspiratie.

3.2 De deelvragen

Zoals al aangehaald komt elk van de vooraf meegegeven vragen hieronder aan bod in een eigen paragraaf, die eindigt in een kennisregel. De kennisregels zijn samengevat in paragraaf 0.

Actualiteit

Voorliggend kennisonderzoek is uiteraard gebaseerd op zo recent mogelijke literatuur. Daarmee is het een zo actueel mogelijk overzicht. Maar de wereld staat niet stil: de Nationale Bossenstrategie genereert veel (onderzoeks)aandacht, maar ook elders wordt doorgewerkt (Pflug et al. 2021) en ook deze rapportage sluit af met een doorkijk naar vervolgonderzoek. Daarbij wordt ook vanuit andere kaders gezocht naar ruimte in rivieren en waterlopen, bijvoorbeeld op het vlak van aquathermie⁴, waarbij ook werk aan beken wordt gedaan (Ramaker 2020). Het is goed om bewust te zijn dat nieuwe ontwikkelingen, die in voorliggende rapportage nog geen plek konden krijgen, het gesprek over nieuw bos in beekdalen kunnen beïnvloeden.

3.2.1 Abiotiek van bossen in beekdalen

Figuur 3-2 laat schematisch zien dat de groeiomstandigheden voor bossen in het beekdallandschap verschillen. Op het plateau is dominant sprake van infiltratie, waardoor het daar in algemene zin droger en wat zuurder is, terwijl het nabij de beek doorgaans aanmerkelijk natter en vaak minder zuur, soms ronduit basenrijk is. Voor specifieke locaties, bijvoorbeeld schijnspiegels boven weerstandbiedende lagen of nabij breukzones, gelden de algemene principes uiteraard niet. Goed om in het achterhoofd te houden richting de kansenkaart. Maatwerk is een van de weinige algemeen geldende principes in de landschapsecologie.

Omdat de waterhuishouding (naast menselijk handelen, denk aan eerdgronden) ook belangrijk is voor bodemvorming -moerige bodems zijn inherent aan natte omstandigheden- wordt hier gebruik gemaakt van het hydrologisch regime om te bepalen welke bossen of vegetaties waar te verwachten zijn. Daartoe worden de zogenoemde GxG's gebruikt: gemiddelde grondwaterstanden aan het eind van de winter (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; GHG), begin van het voorjaar (Gemiddeld Voorjaars Grondwaterstand; GVG) en aan het eind van de zomer (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand; GLG). Bezien vanuit planten zijn met name de GVG en de GLG van belang. Zij bepalen de waterbeschikbaarheid in de wortelzone tijdens het groeiseizoen. Ten tijde van de GHG zijn planten in rust of niet bovengronds, al kan de GHG wel van belang zijn voor de basenaanvulling in de wortelzone. Analoot aan de systematiek van Waternood (Runhaar & Hennekens 2014) wordt de abiotiek voor de verschillende bostypen gedefinieerd met behulp van de GVG, de GLG en de kwelafhankelijkheid.

Met voorgaande is niet bedoeld aan te geven dat de lokale omstandigheden niet van doorslaggevend belang kunnen zijn voor de kansrijkdom van bossen in beekdalen. Maatwerk blijft, zoals gezegd, altijd nodig als het om natuurontwikkeling of -herstel gaat. De combinatie van GVG, GLG en kwelafhankelijkheid maakt het wel mogelijk om navolgbare kansen aan te wijzen, die vervolgens met behulp van maatwerk optimaal kunnen worden verzilverd.

Om na te gaan welke bossen relevant zijn in dit kader is aangesloten bij de Index Natuur en Landschap (BIJ12 2021) en het Handboek Natuurdoeltypen (Bal 2001). De Index Natuur en Landschap wordt onder het Subsiestelsel Natuur en Landschap (SNL) gebruikt om doelen en doelbereik voor bijvoorbeeld Natuurnetwerk Nederland -en dus ook Natuurnetwerk Brabant (Provincie Noord-Brabant 2020b)- te definiëren en vormt als zodanig “de standaard”. Het Handboek Natuurdoeltypen was de meer complete, uitgebreidere en meer gedetailleerde voorloper daarvan.

⁴ Zie bijvoorbeeld <https://www.aquathermie.nl/onderzoek/default.aspx>

Kijken we naar de Index Natuur en Landschap (BIJ12 2021) valt op dat de bostypen in drie categorieën verdeeld zijn (Tabel 3-1): Vochtige bossen, Droge bossen en Productiebossen. De laatste zijn wat betreft (vegetatiekundige) definitie gelijk aan de eerste twee. Zo is Vochtig bos met productie (N16.04) de productievariant van delen van het Haagbeuken- en essenbos (N14.03) en Rivier- en Beekbegeleidend bos (N14.02) en is Droog bos met productie (N16.03) de productievariant van het Dennen-, Eiken- en Beukenbos (N15.02). Evident is dan dat de productiebossen geen wezenlijk andere standplaats vragen, waardoor ze in het vervolg niet meer apart beschouwd worden. Uiteraard kunnen ze wel in beekdalen gerealiseerd worden, zeker daar waar de doelstelling niet primair “natuur” is.

Tabel 3-1 Aan bos gerelateerde natuurtypen zoals opgenomen in de Index Natuur en Landschap (BIJ12 2021) en hun relatie met beekdalen

Natuurtype	Relevant voor beekdalen
<i>N14 Vochtige bossen</i>	
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	Ja
N14.02 Hoog- en laagveenbos	Ja
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	Ja
<i>N15 Droge bossen</i>	
N15.01 Duinbos	Nee
N15.02 Dennen-, Eiken-, en Beukenbos	Ja
<i>N16 Bossen met productiefunctie</i>	
N16.03 Droog bos met productie	Ja
N16.04 Vochtig bos met productie	Ja

Kijkend naar de bij de tabel 3-1 opgenomen “natuurtypen” en de daarbij behorende definitie -die wordt hier omwille van de leesbaarheid niet herhaald- is eigenlijk alleen het voorkomen van Duinbossen (N15.01) uitgesloten voor de fysisch geografische regio Hoge zandgronden (en daarmee voor beekdalen). Voor de overige “natuurtypen” zijn de belangrijkste standplaatsen zoals die volgen uit de literatuur opgenomen in tabel 3-2. Daarin zijn ook enkele andere “natuurtypen” opgenomen die vaak een belangrijke rol spelen in beekherstelprojecten en waarvan figuur 3-2 liet zien dat ze vaak op de lagere delen van het beekdal hun natuurlijke plek vinden.

Tabel 3-2 Referentiewaarden voor de Gemiddeld Voorjaars Grondwaterstand (GVG), Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en grondwaterinvloed (Bal 2001; De Becker 2004; Ertsen et al. 2005; Bobbink et al. 2007; Runhaar et al. 2009 en het referentiebestand van Royal HaskoningDHV). GLG en GVG uitgedrukt in centimeter beneden maaiveld (cm -mv). Een negatieve waarde geeft daarmee een waterstand boven maaiveld.

Natuurbeheertype	GVG (cm -mv)	GLG (cm -mv)	Grondwater invloed
Moeras (N05.04) ¹	20 - -20	40-80	- ¹
Nat schraalland (N10.01)	20 - -5	20-60	Ja, basenarm
Vochtig hooiland (N10.02)	5 -50	> 80	Ja, basenrijk ²
Rivier- en Beekbegeleidend bos (N14.01)	20 - -20	40-80	Ja, aangerijkt
Hoog- en Laagveenbos (N14.02)	20 - -5	>-50	Type-afhankelijk
Haagbeuken- en Essenbos (N14.03) ³	10 - >10	>80	Aangerijkt
Dennen-, Eiken- en Beukenbossen (N15.02)	Buiten bereik van grondwater		
Droog bos met productie (N16.03)	Zie N15.02		
Vochtig bos met productie (N16.04)	Zie N14.01 en N14.03		

¹ Voor moerasvorming zoals bedoeld onder Dynamisch moeras (N05.04) is grondwaterinvloed geen noodzakelijkheid. Afhankelijk van de nagestreefde moerasvegetatie kan grondwaterinvloed echter van doorslaggevend belang zijn. Goed ontwikkeld rietmoeras, bijvoorbeeld, gedijt slecht bij de aanwezigheid van uitsluitend zuur regenwater. Daarbij ontwikkelen moerassen in beekdalen zich vaak in de beekdalgradiënt, die zich kenmerkt door een wisselwerking tussen regen-, grond- en oppervlaktewater. Denk in deze context ook aan de voor beekdalen belangrijke en onder de Kaderrichtlijn Water maar onder de Index Natuur en Landschap niet uitgewerkte natuurtypen Doorstroommoeras en Moerasbeek (Verdonschot et al. 2016b; Verdonschot & Verdonschot 2018; zie aldaar voor een gedetailleerde (a)biotische definitie van deze natuurtypen).

² Voldoende schoon oppervlaktewater kan deze functie overnemen, vergelijkbaar met de vroegere praktijk van bevoeiing.

³ In haar bossenstrategie (Provincie Noord-Brabant 2020a) zet Provincie Noord Brabant in op zogenoemde "rijk strooiselsoorten" om ook op drogere, minder basenrijke standplaatsen te kunnen voorzien in Haagbeuken- en Essenbossen (N14.03). Over de wenselijkheid en de haalbaarheid bestaat echter nog veel discussie (e.g. Arnolds 2020; Desie et al. 2020). Daarbij blijft de standplaatsen gelijk, maar wordt deze via andere processen gewaarborgd.

De kennisregel

De kennisregels aan de hand waarvan de verschillende bostypen in kansrijke gebieden geplaatst kunnen worden, maar ook aan de hand waarvan de kansrijkdom van bepaalde gebieden voor de bostypen bepaald kan worden zijn gelijk aan de randvoorwaarden voor GVG en GLG in tabel 3-1. Het grondwaterregime moet binnen de daar opgenomen grenzen vallen, om een gebied als "kansrijk" te kunnen beoordelen. Daarbuiten geldt "Kansarm".

Zoals aangehaald blijft gebiedspecifiek maatwerk te alle tijden nodig, waarbij inzicht in het ecohydrologisch systeem (aan welke knoppen kunnen of moeten we draaien) van belangrijke waarde is.

3.2.2 Wat zijn vanuit de Kaderrichtlijn Water opgaven de beste mogelijkheden voor nieuw bos?

Aan de hand van verschillende parameters (flora, fauna, waterkwaliteit, stroomsnelheid et cetera) wordt onder de Kaderrichtlijn Water tot een rekenkundig kwaliteitsoordeel gekomen. Het percentage beschaduwing van een waterloop is één van die parameters. Voldoende beschaduwing is belangrijk onder de Kaderrichtlijn Water, zeker voor beken (en dus voor het stroomgebied van De Dommel); het is na de trofiegraad van het water de belangrijkste ecologische sleutelfactor die de kwaliteit van het watersysteem bepaalt (e.g. STOWA 2015). Dat betekent ook dat beschaduwing van invloed op is flora en fauna, maar ook habitatdiversiteit (STOWA 2017). Daarmee heeft deze kennisvraag duidelijke raakvlakken met bijvoorbeeld de kennisvraag over biodiversiteit (paragraaf 3.2.7). In de praktijk krijgt “beschaduwing” vorm door middel van bomen op de oever. Dat heeft weer invloed op de kosten voor beheer en onderhoud, waar ook een eigen kennisvraag voor is geformuleerd (paragraaf 0). Naast beschaduwing zijn bomen rond beken en waterlopen ook op andere manieren van belang (naar STOWA 2017 en referenties daarin):

- beperkt de groei van algen en waterplanten en vermindert zo de onderhoudsbehoefte (hier liggen raakvlakken met paragraaf 0);
- koelt het beekwater en verbetert de zuurstofhuishouding;
- voert organisch materiaal (grof en fijn) naar de beek en versterkt het beekhabitat en de voedselbasis in de beek. Hier ligt een raakvlak met biodiversiteit (paragraaf 3.2.7);
- filtreert, neemt op of breekt stoffen af, zoals nutriënten (onder meer stikstof fosfor) en toxische stoffen;
- remt oppervlakkige afspoeling van stoffen en sediment naar de beek en vertraagt al doende piekafvoeren (hier liggen raakvlakken met paragraaf 0);
- versterkt de microbiële activiteit in de oeverzone (afbraak organisch materiaal).
- verstevigt de oever en beschermt tegen oevererosie;
- biedt habitat, voedsel, schuilplaats, oriëntatie en verbinding aan organismen (vergroot de biodiversiteit; paragraaf 3.2.7);

Omdat “beschaduwing” een zelfstandig criterium is dat bovendien raakt aan andere voor de Kaderrichtlijn Water relevante parameters is “beschaduwing” hier als uitgangspunt genomen voor de kennisregel, zónder te willen suggereren dat alleen “beschaduwing” van belang is. Zoals gezegd is aanplant of toestaan van bomen langs oevers van beken in de praktijk het middel om het percentage beschaduwing te verhogen. De aanwezigheid van bomen op de oever van een beek is direct gekoppeld aan een van de doelen die gelden onder de Kaderrichtlijn Water, namelijk “Overige waterflora”.

De mate waarin verschillende functies worden vervuld hangt onder meer af van de samenstelling (het gebruikte sortiment) en breedte van de houtige zone en de hoogte van de bomen en struiken (Castelle et al. 1994; Wenger 1999). Gezien het onderwerp van deze rapportage ligt de nadruk op oevervegetatie bestaand uit bos.

De omschrijving voor de score van de oevervegetatie voor, bijvoorbeeld, het natuurlijke riviertype R4 (Permanent langzaamstromende bovenloop op zand) is als volgt: Doorgaans zijn de oevers begroeid met bomen, in dichtheid variërend van een schaduwrijk bos tot een half open landschap. Onder oeverbegroeiing wordt hier alleen de boomlaag beoordeeld met een kroonsluiting van ten minste 75 procent (dichtheid binnen de kroon tenminste 50%) om voldoende ontwikkeld te kunnen heten (STOWA 2018). De referentie ligt tussen 50 en 100% van de lengte van de oevers van het gehele waterlichaam met een zodanige begroeiing. Voor typen R5 (Langzaamstromende middenloop/benedenloop op zand) en R6 (Langzaamstromend riviertje op zandklei) geldt dezelfde omschrijving, maar de referentie ligt hierbij tussen 60 en 100 procent (STOWA 2018).

In tabel 3-3 staat per watertype zoals bedoeld onder de Kaderrichtlijn Water de Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) weergegeven die hoort bij de verschillende percentages oevervegetatie. Bij een oeverbegroeiing van 40 procent hoort voor de types R5 en R6 een Ecologische Kwaliteitsratio van 0.6, gelijk aan de score “Goed”.

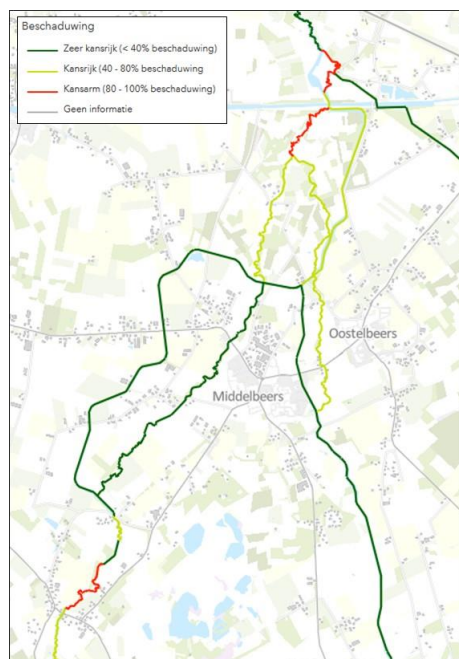
Tabel 3-3 De verhouding tussen de Ecologische Kwaliteitsratio (EKR) en het percentage oevervegetatie voor de verschillende natuurlijke watertypen zoals beschreven in STOWA (2018). Verklaring van de R-types in de tekst boven de tabel.

EKR	Percentage begroeiing (%)		
	R4	R5	R6
0,0	0	10	10
0,2	10	20	20
0,4	30	40	40
0,6	50	60	60
0,8	70	80	80
1,0	85	100	100

Belangrijk is, dat het percentage beschaduwing direct meetelt in de deelmaatlat “Abundantie groeivormen”, een onderdeel van de maatlat voor “Overige waterflora”. De totale score voor de deelmaatlat “Abundantie groeivormen” wordt bepaald door de scores voor de abundantie van emerse-, submerse- en oevervegetatie, FLAB (Floating Algae Beds) en kroos. De score voor deze deelmaatlat wordt vervolgens nog gemiddeld met de score voor soortensamenstelling macrofyten en fyto benthos. Omdat de hoeveelheid licht die de (water)bodem bereikt medebepalend is voor de mate waarin (onder)waterplanten zich kunnen ontwikkelen heeft de mate van beschaduwing een directe relatie met deze deelmaatlat. Dat betekent dat met behulp van bomen (of bos, zie kader “Verklarende woordenlijst”) op de oever gestuurd kan worden op (onder meer) het verhogen van de score die behaald wordt voor de maatlat “Overige waterflora” (Verdonschot et al. 2016a, 2017). Overigens geldt dit uitsluitend voor stromende wateren. Bomen spelen een andere rol bij andere typen waterlichamen.

Daar zit ook een grens aan. Tabel 3-3 laat zien dat de Ecologische Kwaliteitsratio een optimum bereikt bij een oeverbegroeiing van 80-85 procent. Dat betekent ook, dat vanuit de wat mathematische benadering die de bepaling van het doelbereik op grond van de Kaderrichtlijn Water onderligt, vanaf dat punt aanvullende beschaduwing minder zinvol is.

Beschaduwing is niet alleen relevant voor de (onder)waterflora die kan ontwikkelen (e.g. Verdonschot et al. 2016). Via bijvoorbeeld watertemperatuur, maar ook diversiteit in structuur (boomwortels, holle oevers, dood hout et cetera die op hun beurt leiden tot variatie in stroomsnelheid), bestaat ook een relatie met (macro)fauna. Bos of bomen op de oever van een beek zorgt voor een toename in de beschikbare ecologische niches, waardoor de diversiteit aan soorten hoger zal zijn. Meer soorten vinden immers een



Afbeelding 1 Beeld kansenkaart KRW

geschikt leefmilieu. Die relatie is onder de Kaderrichtlijn Water rekenkundig moeilijk, waardoor effecten op de Ecologische Kwaliteitsratio minder direct en minder duidelijk zijn in vergelijking met de (onder)watervegetatie. Daarom voeren ze hier niet de boventoon. Dat spreekt niet tegen dat de grootste slagen doorgaans te maken zijn op plekken waar op het moment nog weinig tot geen oeverbegroeiing aanwezig is, vergelijkbaar met de maatlat “Overige waterflora” hiervoor.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “Wat zijn vanuit de opgaven van de Kaderrichtlijn Water de beste mogelijkheden voor nieuw bos en bomen? En hoe draagt dit bij aan het realiseren van de Kaderrichtlijn Water doelen?” moet zijn:

- Daar waar actueel sprake is van minder dan 80 procent beschaduwing van de beek levert nieuw bos of leveren nieuwe bomen op de oever de grootste bijdrage aan de Ecologische Kwaliteitsratio voor de maatlat “Overige waterflora”, waarbij ook een positieve bijdrage wordt geleverd aan biodiversiteit (via watertemperatuur, habitatbeschikbaarheid) en sprake is van raakvlakken met beheer en onderhoud. Samengevat is het

percentage beschaduwing langs stromende wateren van grote invloed op de Toestand Biologie volgens zoals bedoeld onder de Kaderrichtlijn Water.

Door per traject in kaart te brengen wat het beschaduwingspercentage is, is het dan mogelijk om locaties aan te wijzen waar het ontwikkelen van bos het meeste effect zal hebben volgens:

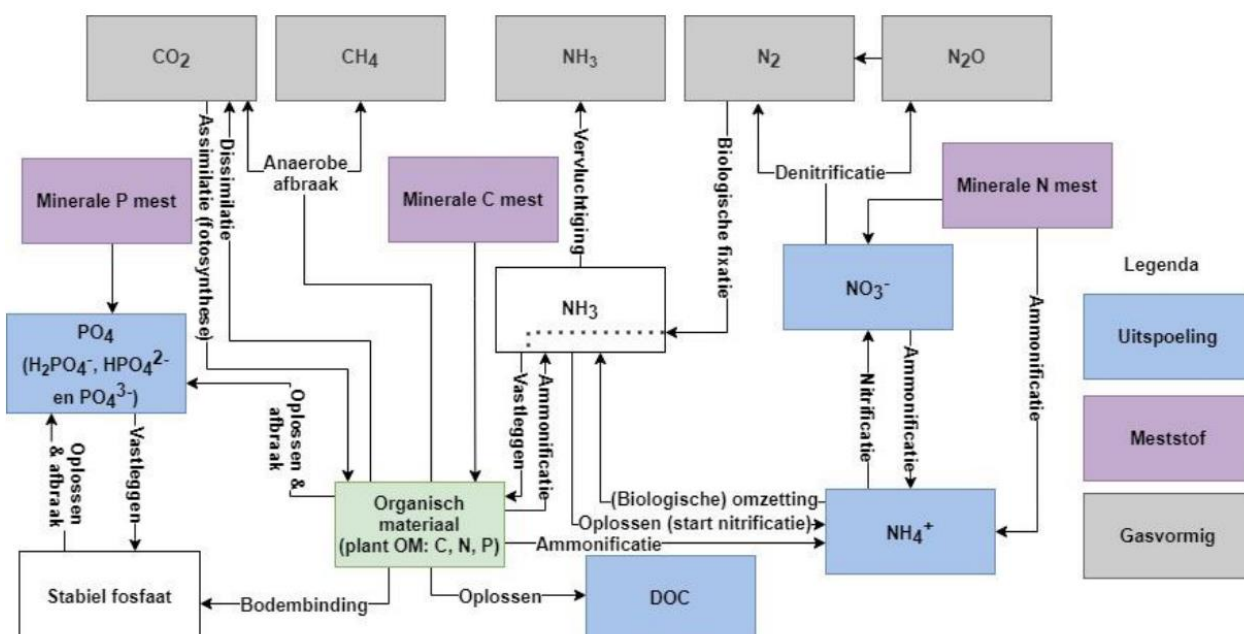
- | | | |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|
| ■ Actueel percentage beschaduwing | < 40 procent | Zeer Kansrijk |
| ■ Actueel percentage beschaduwing | >40 - <80 procent | Kansrijk |
| ■ Actueel percentage beschaduwing | >80 procent | Kansarm |

3.2.3 Wat zijn vanuit (grond)waterkwaliteit de beste mogelijkheden voor nieuw bos en hoe dragen deze bij aan het verbeteren van de kwaliteit en hoeveelheid?

Verrassend genoeg zijn relevante literatuurbronnen voor dit onderwerp schaars, althans als het gaat om effecten van bossen op de waterkwaliteit die op empirisch onderzoek berusten. Zo ontbreekt dit onderwerp ook nadrukkelijk in Veraart et al. (2020), maar zie Jansen & Olsthoorn (2003). De algemene kringlopen zijn uiteraard genoegzaam bekend (Figuur 3-3). Op wereldschaal groeit de aandacht voor dit onderwerp, samen met de noodzaak voor beschikbaarheid van voldoende schoon drinkwater; bossen krijgen daarin een belangrijke rol (Springgay 2019). Meer algemeen geldende principes worden anekdotisch van toepassing verklaard op bossen. Denk dan aan:

- Het gegeven dat (kunst)mest, herbiciden en pesticiden niet worden gebruikt, leidt tot een betere waterkwaliteit
- Omdat geen of in ieder geval veel minder sprake is van afspoeling van bodemdeeltjes (zie ook paragraaf 3.2.4 en figuur 3-2) vindt geen of minder uitspoeling van stoffen naar het oppervlaktewater plaats.

Niettemin is algemeen bekend dat de nutriënten stikstof en fosfor vanuit de landbouw een grote bijdrage leveren aan de uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater (Cassman 1999; Compendium voor de Leefomgeving 2018). Dat heeft uiteraard te maken met de gangbare (over)bemestingspraktijk. Om te voldoen aan de normen voor stikstof- en fosforconcentraties in regionale waterlichamen, bijvoorbeeld, moet de uit- en afspoeling uit landbouwgronden landelijk gemiddeld met respectievelijk 12-17% en 12-38% worden verminderd (Groenendijk et al. 2016). Maatregelen die kunnen helpen -vooral voor de belasting met stikstof- zijn onder meer vervanging van uitspoelingsgevoelige gewassen in het zandgebied, bodemverbetering, verbetering nutriëntenbenutting en aanpassen van drainage (Groenendijk et al. 2016).



Figuur 3-3 Vereenvoudigde weergaven van de interacties in en tussen de stikstof-, koolstof- en fosfaatkringloop die van belang zijn bij uitspoeling (blauw), en de meststoffen (paars) en de gasvormige stoffen (grijs). Uit Ursem et al. (2021).

Het onderzoek dat wel beschikbaar is, vaak in de context van agroforestry-systemen in gebieden waar water schaars is, onderbouwt dit ook (e.g. Udawatta et al. 2002; Lee et al. 2003). Zo laten Udawatta et al.

(2002) zien dat in vergelijking met teelt van maïs en soja in Missouri (kleibodem) bos tot 17 procent minder afspoeling van fosfaat (P) en tot 20 procent minder afspoeling van stikstof (N) opleverde (in geval van een piekbui). Voor uitspoeling van stikstof werd een reductie van 37 procent gevonden. Lee et al. (2003) vinden nog hogere percentages, die deels verklaard worden door de studieopzet. Voor “bossen in Costa Rica” concluderen (Imbach et al. 1989) dat bomen, vanwege hun positieve invloed op de nutriëntencyclus, inderdaad bijdragen aan een reductie van de uitspoeling van stikstof (en andere voor het milieu gevaarlijke stoffen) naar het grondwater.

Echter, voorgaande gaat met name over de situatie waar regulier landbouwkundig gebruik wordt vergeleken met gebruik als bos (De Schrijver et al. 2011): een verandering in landgebruik. Maar wat nu als we bossen vergelijken met natuurgraslanden? Dan valt op dat vanwege hun formaat maar zeker ook hun structuurvariatie bomen relatief veel stoffen uit de lucht invangen, tot een factor drie meer in vergelijking met lagere vegetaties (Brechtel 1992; Harding et al. 1992; Tolkamp & Olsthoorn 2006), met name zwavel (S) en stikstof (N) verbindingen (Jansen & Olsthoorn 2003). Daarbij vangen naaldbossen meer stoffen in dan loofbossen en is de uitspoeling onder naaldbos ook hoger (De Schrijver et al. 2007).

Die invang kan leiden tot een ophoping van stikstof en zwavel onder bossen, die bij verzadiging uitspoelen (Jansen & Olsthoorn 2003), al is de situatie als gevolg van landelijk emissiebeleid sinds de jaren negentig aanmerkelijk verbeterd (Compendium voor de Leefomgeving 2021). De gemiddelde concentraties nitraat (NO_3), zwavel en aluminium (Al) in het bovenste grondwater onder bossen op zand zijn afgenomen. Het areaal bos op zand waar de streefwaarde voor nitraat (25 mg l^{-1}) in het bovenste grondwater wordt overschreden is gedaald van 50 naar 30 procent. De gemiddelde Al/Ca-verhouding in de wortelzone, een maat voor de verzuring, is sinds 1990 met de helft afgenomen (Compendium voor de Leefomgeving 2021). Zowel stikstof als zwavel kunnen benedenstrooms, bijvoorbeeld in kwelgebieden, leiden tot eutrofiëring, met name in lokale systemen met een relatief hoge kwelflux (Van Delft et al. 2005). Hier ligt een landschapsecologische relatie, waarvan het goed is rekenschap te geven in geval van nieuw bos, al betreft het zeker geen “showstopper” (cf. Van Delft et al. 2005, maar ook het kader “Stikstof: een belangrijk nutriënt”).

Van belang is verder dat met name de wat drogere bossen (bijvoorbeeld Dennen- Eiken-, en Beukenbossen N15.02) gekenmerkt worden door boomsoorten met relatief zuur en moeilijk afbreekbaar strooisel (Hommel 2007), maar ook een groter aandeel naaldbos. De bodems onder dergelijke bossen zijn van nature wat zuurder, waardoor uitspoeling van stoffen naar het grondwater makkelijker verloopt. Effecten hiervan kunnen tot in de verzadigde zone gemeten kan worden (Gundersen & Rasmussen 1990; Allen & Chapman 2001; Gundersen et al. 2006), al is de soortensamenstelling van groot belang (De Schrijver et al. 2007; Hommel 2007); soorten die gekenmerkt worden door relatief goed afbreekbaar meer basisch strooisel zijn te gebruiken om dit effect tegen te gaan en de bodem te verbeteren. Sortimentkeuze bij aanplant is in die zin een aandachtspunt (cf. Arnolds 2020).

Voorgaande overziend ontstaat het beeld dat vanwege de grote invloed van regulier agrarisch landgebruik op de (grond)waterkwaliteit functieverandering met name in intrekgebieden (waar het infiltrerende water zijn reis naar de beek begint) veel effect sorteert. Bedenk hierbij dat “het” intrekgebied niet bestaat, maar afhankelijk is van het landschapsecologisch systeem waar aan gewerkt wordt. Voor het gehele beekdal kunnen dit de hoogste gebieden dichtbij de waterscheiding zijn, terwijl dit voor een beekbegeleidend bos in het beekdal ook de aangrenzende dekzandruggetjes kunnen zijn. Omdat bos in vergelijking met bijvoorbeeld natuurgrasland meer milieuvreemde stoffen invangt die kunnen uitspoelen naar het grondwater, zal het omzetten van dergelijke waarden in bos niet tot nauwelijks een bijdrage leveren aan het verbeteren van de (grond)waterkwaliteit.

Het kwantiteitsvraagstuk dat besloten ligt in deze vraag komt gedetailleerd aan de orde in paragraaf 3.2.4.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “*Wat zijn vanuit (grond)waterkwaliteit de beste mogelijkheden voor nieuw bos en hoe dragen deze bij aan het verbeteren van de kwaliteit en hoeveelheid?*” moet zijn:

- In vergelijking met regulier agrarisch gebruik (bosontwikkeling op voormalige landbouwgronden) leidt nieuw bos tot een afname van de uitspoeling van stoffen richting het grondwater en afspoeling van stoffen richting het oppervlaktewater. Vergeleken met natuurgraslanden of korte natuurlijke vegetaties is de uitspoeling van stoffen -met name zwavel en stikstof- hoger. Dat is met name van belang in de intrekgebieden (zie kanttekening bij “intrekgebied” hiervoor).

Ontwikkeling van nieuw bos zal dan ook de grootste kwaliteitswinst opleveren wanneer dat gebeurt op areaal dat nu niet als “natuur” in gebruik is, waarbij de grootste winst te behalen is in de intrekgebieden. Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- | | |
|---|---------------|
| ■ Landbouwgrond in intrekgebied | Zeer Kansrijk |
| ■ Landbouwgrond buiten het intrekgebied | Kansrijk |
| ■ Natuurgronden | Kansarm |

Stikstof: een belangrijk nutriënt

Alle vegetaties, ook bossen, kennen nutriëntenkringlopen, waaronder de stikstof kringloop (e.g. Odum 1971; Kellomäki et al. 1998; Townsend et al. 2000; Siepman 2018). Stikstof is aanwezig in de vorm van immobiel organisch materiaal en ammonium (NH_4), opgelost organisch stikstof en mobiel nitraat (NO_3) en nitriet (NO_2). Ammonium, vaak gebonden aan het bodemcomplex, wordt door bacteriën onder aerobe condities omgezet in nitraat (nitrificatie). Deze processen afhankelijk van de temperatuur, pH, vochtbeschikbaarheid, zuurstofbeschikbaarheid en de redoxpotentiaal (Wienk 2000).

Vergeleken met andere relevante voedingsstoffen of mineralen, spoelt stikstof relatief makkelijk uit naar het grondwater. Hierbij moet wel bedacht worden, dat stikstof relatief makkelijk uitspoelt en daarmee niet meer beschikbaar is voor bomen. Zo varieerde de jaarlijkse nutriëntenvruchten van het uit- en afspoelende water uit natuurgebieden op zandgebieden in de periode 2016-2030 tussen 4 en 16 kg N ha⁻¹ j⁻¹ bij een depositie van 33 kg N ha⁻¹ j⁻¹ (Schoumans et al. 2008), ofwel 12 tot 50%. Uitspoeling van stikstof vindt vooral plaats via nitraat (NO_3) en ammonium (NH_4), waarbij de uitspoeling afhangt van onder andere de hoeveelheid neerslag die valt (vochtbeschikbaarheid) en van de hoeveel nitraat die na het groeiseizoen achterblijft in de bodem. Ursem et al. (2021) geven bovendien aan dat als gevolg van klimaatverandering komende jaren rekening gehouden moet worden met een toename in de uit- en afspoeling van nutriënten (Afbeelding 2).

Stof	Vorm uit- en afspoeling	Klimaat effect op bodemprocessen	Effect op de waterkwaliteit
Koolstof	Organische stof en DOC	↑ temp = ↑ productie en afbraak organische stof	↑ beschikbaarheid DOC ↑ uit- en afspoeling DOC
		↓ grondwaterstand = ↑ afbraak organische stof	↑ beschikbaarheid DOC en andere nutriënten ↑ uit- en afspoeling nutriënten bij neerslag
Stikstof	Nitraat en ammonium	↑ temp & droogte = ↑ ammonificatie en nitrificatie	↑ beschikbaarheid nitraat en ammonium ↑ uit- en afspoeling nitraat
		↑ temp & droogte = ↓ denitrificatie	↑ beschikbaarheid nitraat ↑ uitspoeling nitraat
Fosfor	Fosfaat	↑ temp = ↑ diffusiesnelheid	↑ beschikbaarheid fosfaat
		↑ neerslag = ↑ oplosbaarheid fosfaat	↑ uit- en afspoeling fosfaat

Afbeelding 2: Effecten van klimaatverandering op de bodemprocessen en de waterkwaliteit, weergegeven per stof uit deze studie (Uit: Ursem et al. 2021). ↑: Hoger, ↓: Lager. DOC: Dissolved Organic Carbon. Temp: Temperatuur.

3.2.4 Wat zijn vanuit de watervoorziening de beste mogelijkheden voor nieuw bos?

Figuur 3-1 heeft laten zien dat wanneer het om watervoorziening gaat het resultaat van de interactie tussen verdamping en infiltratie van belang is. Allebei komen ze hieronder aan de orde.

3.2.4.1 Infiltratie

Landgebruik heeft grote invloed op de infiltratiecapaciteit van de bodem; het bepaalt de hoeveelheid neerslag die infiltreert en de hoeveelheid die aan de oppervlakte blijft en oppervlakkig afstroomt (Figuur 3-1 en figuur 3-2). Anders gezegd: landgebruik bepaalt niet alleen het watervasthoudend vermogen van de bodem (e.g. infiltratie, organisch stofgehalte), maar is ook een bepalende factor in de lokale hydrologie (e.g. directe afstroming), zeker in beekdalen (Van Deursen et al. 2013). Gronden in gebruik als natuurgrond leveren dan ook belangrijke bijdrage aan de Nederlandse waterbalans (Van Loon et al. 2019).

De infiltratiecapaciteit van de bodem hangt samen met de (micro)structuur daarvan; hoe meer en hoe dieper poriën aanwezig zijn, hoe beter de infiltratie (Yunusa et al. 2002; Alaoui et al. 2011; Rahman & Ennos 2015; Driver 2016). Op haar beurt wordt de porositeit van de bodem weer beïnvloed door doorworteling (vegetatie) en bodemleven (Alaoui et al. 2011). Het is dan ook daarom dat regenwater veel beter infiltreert in graslanden in vergelijking met akkerland, maar nog beter in kruidenrijke graslanden en bossen; de dikte van de doorwortelde bodemlaag én de variatie in wortelstructuur neemt steeds verder toe in de richting van akker naar bos (Gregory et al. 2010; Forbes et al. 2015). Zo laten Forbes et al. (2015) zien dat door schapen begraasd grasland een zes keer lager infiltrerend vermogen heeft in vergelijking met een open bos (respectievelijk circa 10 en 60 cm h⁻¹ constante infiltratiecapaciteit). Bharati et al. (2002) vindt vergelijkbare waarden voor maïspercelen in Amerika. Figuur 3-4 illustreert dit principe. Yunusa et al. (2002) laten zien dat al na 10 maanden na het omzetten van het landgebruik van akker naar een ander vegetatietype sprake is van een meetbaar effect op het aantal (macro)poriën in de bodem.

Voorgaande betekent dat bos, in vergelijking met regulier agrarisch gebruik maar ook kortere natuurgraslanden of heiden, zorgt voor ruim meer infiltratie van regenwater dat de grond bereikt en daarmee voor verhoudingsgewijs meer, maar vooral gelijkmatigere grondwateraanvulling.

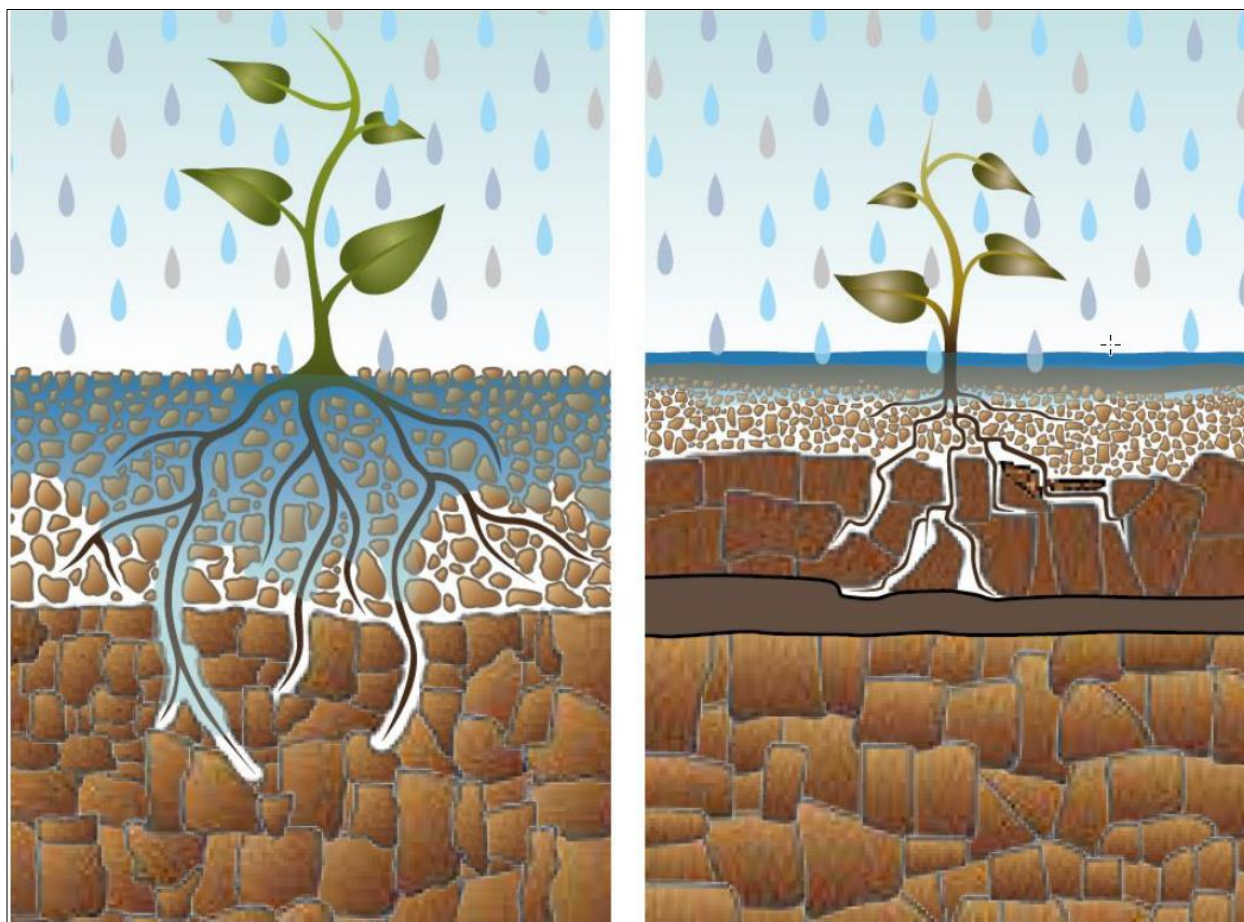
Verschillende bodemtypes (zand, klei, veen, löss) verschillen in onder meer porositeit en daardoor in hun vermogen om vocht vast te houden of na te leveren. Dat is het directe gevolg van het poriënvolume dat afneemt in de volgorde zand>veen>leem>klei, waardoor zandgronden veel beter waterdoorlatend zijn en veel minder in staat om water vast te houden of na te leveren in vergelijking met kleigronden. Echter, het principe dat in de vorige alinea werd geschetst en rust op het verhogen van de porositeit door diepere en meer gedifferentieerde doorworteling in combinatie met een natuurlijk organisch stofgehalte, is onafhankelijk van het bodemtype.

Bodemleven en organisch stof: meer dan bodemchemie alleen

Het bodemleven, maar ook de ontwikkeling en de soortenrijkdom van bossen (e.g. Hommel 2007), heeft via interactie met organische stof een belangrijke rol in de fosfor- en stikstofcyclus. De relevantie van dit aspect is al vroeg onderkend (Reddy en Patrick 1975; Aerts et al. 1999), maar recent komt het bodemleven nadrukkelijk naar voren als het gaat om natuurontwikkeling en -herstel (Kemmers et al. 2001; Lin et al. 2012; Knappová et al. 2016; Van Bezouw et al. 2016; Koziol en Bever 2017), ook in Nederland (Van Dijk et al. 2009; Kemmers et al. 2010; De Mars et al. 2017). Vanwege zijn rol in het vrijmaken van nutriënten uit organisch materiaal krijgt bodemleven en het beheer daarvan veel aandacht in de (biologische) landbouw (Timmermans et al. 2012 en referenties daarin; Bokhorst en Janmaat 2013).

Ander relevant aspect als het gaat om het watervasthoudend vermogen van de bodem is het aandeel organisch stof (Veraart et al. 2020; Wösten & Groenendijk 2021). Bosbodems, waaronder ook voedselbossen (Rebisz 2019), kennen een betere kwaliteit en een hoger gehalte bodemorganische stof waardoor meer water in de wortelzone beschikbaar is dan op landbouwbodem. Hierdoor hebben deze bodems meer watervasthoudend vermogen in vergelijking met landbouwbodems, onder meer door de vorming van humus en een strooisellaag (Kučera et al. 2021), dan wel het initiëren van nieuwe veenvorming. Overigens is dit organisch stof ook van belang voor een gezond bodemleven. Naarmate er meer organische stof aanwezig is kent de bodem een hogere infiltratiecapaciteit met minder maaiveldafvoer tot gevolg (indirect positief effect op de waterretentie en mogelijke reductie afvoerpieken (Schipper et al. 2015)).

Veldstudies waarbij deze indirecte effecten gekwantificeerd zijn voor Nederlandse bodems zijn niet bekend (Wösten & Groenendijk 2021). Wel zijn er indicaties van een positief effect uit buitenlands veldonderzoek, die voor een Amerikaanse case-study laten zien dat biologische landbouw leidt tot circa 30 tot 50 procent beter watervasthoudend vermogen van de bodem (Williams et al. 2017).



Figuur 3-4 Illustratie van het effect van vegetatie op de infiltratiecapaciteit van de bodem. Naar Forbes et al. (2015).

Verder is van belang om nog een keer te kijken naar figuur 3-2. Op hoofdlijnen volgt daaruit, dat wat dat ten goede komt aan de beek en het beekdal infiltreert op de plateau's om vervolgens aan een ondergrondse reis naar het dal te beginnen. Dat is uiteraard congruent met de landschapsecologische theorie, al bestaan allerlei meer of minder lokale variaties op dat thema. Zo zijn grote intrekgebieden als het Kempisch hoog van groot belang voor veel natuurwaarden in het stroomgebied van de Dommel. Het

hiervoor geschetste principe van het doen toenemen van de infiltratie ten bate van het doen groeien van de ondergrondse watervoorraden is daarmee het meest effectief in de intrekgebieden (vaak herkenbaar aan hun bodemtype, bijvoorbeeld de welbekende podzolgronden). In natuurgebieden zijn die vaak heide of stuifzandgebieden (Veldpodzolen). Daar vindt grondwateraanvulling plaats. Lager in de gradiënt, bijvoorbeeld in de beemden, is veel minder ruimte voor infiltratie, al was het maar omdat op deze gebieden (van nature) veel water als grondwater toestroomt en juist daar de neiging heeft om als kwel aan de oppervlakte te komen. Er is, als het ware, minder onverzadigde bodem aanwezig waarin water kan worden opgeslagen, omdat een deel van de ruimte al wordt ingenomen door water dat vanuit hoger gelegen gebieden toestroomt.

Organische stofgehalte en waterbeschikbaarheid - de Nederlandse situatie

(Wösten & Groenendijk 2021)

Het effect van een toename van het gehalte organisch stof is afhankelijk van de Ausgangssituation:

- In schrale zandgronden met ≤ 1 % organische stof leidt een toename van 1 % organische stof tot een toename van 3 – 4 mm beschikbaar water
- In bodems met 1 tot 3 % organische stof leidt een toename van 1 % organische stof tot een toename van 2 -3 mm beschikbaar water
- In bodems met > 3 % organische stof leidt een toename van 1 % organische stof tot een toename van 1 mm beschikbaar water.

Nederland-breed zal volgens Wösten & Groenendijk (2021) een verhoging van het organische stofgehalte het meeste effect hebben op waterretentie van de zandgronden in Midden en Oost-Brabant, de Achterhoek en Twente. Voor individuele percelen of bossen kan dat uiteraard anders zijn.

3.2.4.2 Verdamping

Voor de waterbalans van een vegetatie zijn toevoer van water via neerslag en grondwater de voornaamste bronnen van water en verdamping van grondwater via fotosynthese (transpiratie) en verdamping van neerslagwater na interceptie in de kroon of vanuit de bodem de belangrijkste verliesposten van water (Dolman & Moors 1994; Kellomäki et al. 1998; Lambers et al. 1998; Larcher 2003; Ouden 2011; Moors 2012). In figuur 3-1 is dit schematisch weergegeven.

Het verschil tussen het inkomende en het uitgaande water, is het neerslagoverschot. De sluitpost van de balans, als het ware. In Nederland is dit op jaarbasis een positief getal; er is meer water beschikbaar dan nodig. Voor de omgeving van 's-Hertogenbosch⁵ gaat het om gemiddeld (periode 1981-2010) van 200-240 mm j⁻¹, met een gemiddelde hoeveelheid neerslag van 800-825 mm j⁻¹ (KNMI 2011). Dit water is beschikbaar voor infiltratie naar het grondwater of oppervlakkige afstroom naar het oppervlaktewater in erg natte situaties. Let wel: dit is een gemiddelde voor één locatie dat een beeld geeft van het klimaat, maar niets zegt over de fluctuatie in dezelfde periode of in andere delen van het stroomgebied. Gedurende dezelfde periode varieerde de jaarlijkse neerslagsom voor, bijvoorbeeld, neerslagstation Tilburg tussen de 604 en 1124 mm j⁻¹ (KNMI 2021).

Het door het KNMI gebruikte getal voor verdamping, is de verdamping van water inclusief transpiratie voor een referentiegewas: de zogenoemde referentieverdamping. Verdamping is echter afhankelijk van tal van factoren (e.g. Den Ouden 2011), waarbij het type vegetatie een van de belangrijkste posten vormt.

⁵ Misschien ongelukkig gekozen, gegeven dat 's-Hertogenbosch ver in de benedenloop van de Dommel ligt, waar veel water aankomt dat is gevallen in het bovenstroomse deel van het stroomgebied. Voor de hier geschetste illustratie voldoet ze, met deze kanttekening, echter prima.

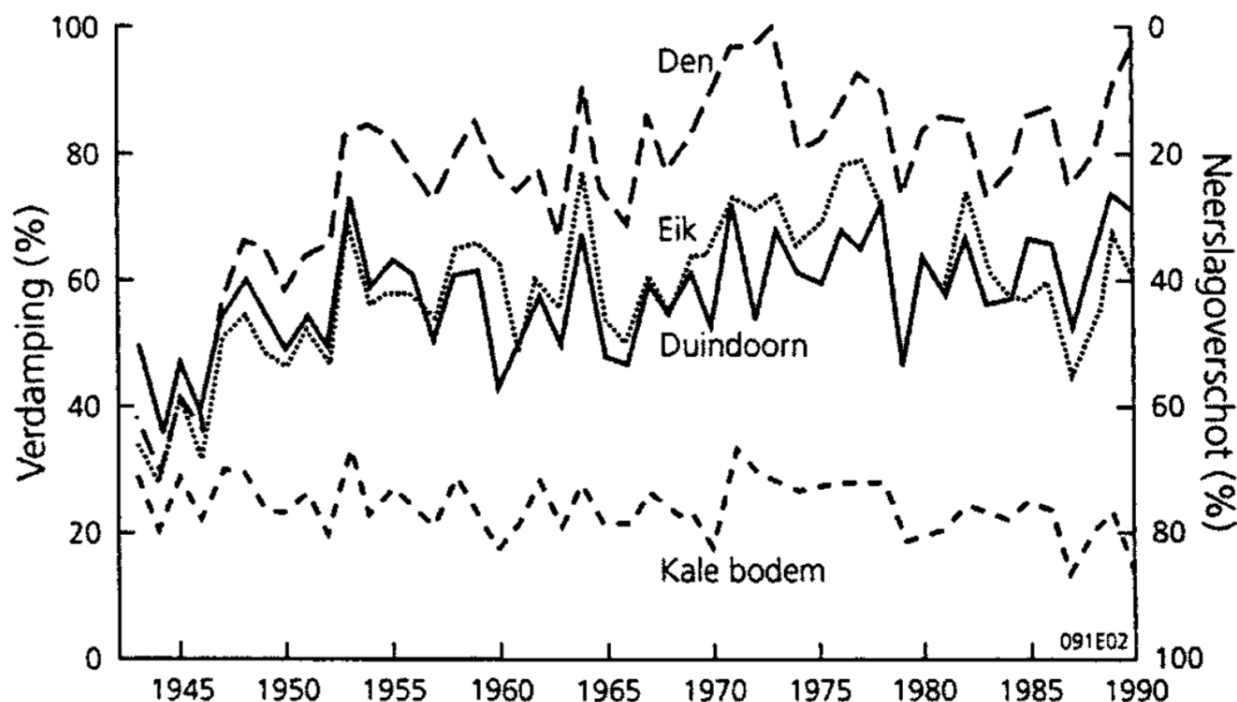
Wat betreft interceptie is bekend dat verdamping via deze weg bijna even groot kan zijn als verdamping via transpiratie (Moors et al. 1996). Onderzoek (e.g. Dolman en Moors 1994; Elbers et al. 1996) laat zien dat voor loofbossen gemiddeld tot circa 15 ('s winters) tot 30 ('s zomers) procent van de jaarlijkse neerslag verloren gaat via interceptieverdamping. Dat deel van de neerslag bereikt dus nooit de grond en komt niet ten goede aan het grondwater.

Een van de eerste (en enige) overzichten (Spieksma et al. 1995) van het waterverbruik van bossen (evapotranspiratie), gebaseerd op directe metingen laat zien dat de verschillen tussen vegetatietypen op kunnen lopen tot enkele honderden millimeters per jaar als het gaat om waterverbruik. Figuur 3-5 illustreert dit. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat dit onderzoek is gedaan met behulp van lysimeters op zandige bodem. Een lysimeter is een van de bodemomgeving geïsoleerde ingegraven grote bak, waarin al dan niet vegetatie groeit. Neerslag, afvoer en bodemvochtveranderingen worden in de tijd geregistreerd. Wanneer, zoals in de hier gebruikte studies, de vegetatie in de lysimeters lijkt op of onderdeel is van de natuurlijke vegetatie die wordt onderzocht, zijn hierin ook de effecten van die vegetatie op het microklimaat (bijvoorbeeld een hogere luchtvochtigheid in bossen in vergelijking met (agrarisch) grasland) zo goed mogelijk verdisconteerd.

In figuur 3-5 valt op, dat loofbomen en struiken een aanmerkelijk hoger waterverbruik (verdamping + transpiratie) kennen in vergelijking met kale bodem, maar minder dan naaldbomen. Latere studies bevestigen dit beeld (e.g. De Schrijver et al. 2007). Dolman et al. (2000) laten op basis van directe metingen en literatuuronderzoek zien dat het waterverbruik voor gemengd loofbos circa 555 mm j⁻¹ bedraagt. Een samenvatting van onderzoeksresultaten is terug te vinden in Massop et al. (2005). De daar gepresenteerde getallen wijken overigens niet in betekenende mate af van de getallen hiervoor genoemd.

Om deze deelvraag te beantwoorden, zijn nieuwe bossen in beekdalen geïnterpreteerd als qua sortiment gemengd (loof)bos. Dat past ook bij de als relevant gepresenteerde natuurtypen (Tabel 3-1), die zonder uitzondering monoculturen uitsluiten.

Van belang is om na te gaan in hoe nieuwe bossen zich verhouden tot andere vormen van landgebruik, bijvoorbeeld regulier agrarisch gebruik of natuurgrasland. Figuur 3-5 liet al zien dat kale bodem veel minder verdampt in vergelijking met loofbos (eik). Dat is logisch, gezien kale bodem geen vegetatie kent die actief water verdampt, maar dat betekent niet automatisch dat ook meer water beschikbaar is voor infiltratie. Niet alleen liet figuur 3-1 zien dat ook sprake is van oppervlakkige afstroom, paragraaf 3.2.4.1 liet al zien dat juist doorworteling de infiltratiecapaciteit van de bodem verbetert. De praktijk laat zien dat kale bodem juist veel oppervlakkige afstroom en weinig infiltratie kent (Bharati et al. 2002; Van Deursen et al. 2013).



Figuur 3-5 De jaarsommen van de totale verdamping en het neerslagoverschot uitgedrukt in % van de neerslag voor vier verschillend begroeide lysimeters (Van Oldenborgh 1936; Dolman en Oosterbaan 1986; Dolman en Moors 1994)

Het door het KNMI gebruikte getal voor verdamping, is de verdamping van water inclusief transpiratie (=evapotranspiratie) voor een referentiegewas: de zogenoemde referentieverdamping. De referentieverdamping is de theoretisch maximale verdamping van een ideale grasmat met een optimale beschikbaarheid van water, berekend met de formule van Makkink en bedraagt ongeveer 540 mm j^{-1} .

Feddes (1987) laat zien dat de referentieverdamping (ie. gras) gelijk is aan de verdamping van regulier agrarisch grasland. Voor andere gewassen moet rekening worden gehouden met de zogenoemde gewasfactoren die gebruikt kunnen worden om de werkelijk evapotranspiratie van landbouwgewassen te kunnen berekenen uit de potentiële verdamping. Voor gras is de gewasfactor jaarrond dus ongeveer 1. Voor maïs loopt de gewasfactor volgens Feddes (1987) op met de groei; van circa 0,5 in mei tot maximaal 1,3 in juli om vervolgens richting september af te nemen tot 1,2. De evapotranspiratie is daarmee het grootste deel van het jaar veel hoger voor maïs.

Met deze informatie kunnen we tot een kwantitatieve schatting komen van de verschillen in verdamping (hier evapotranspiratie) tussen onder meer regulier agrarisch grondgebruik en bos. Dat overzicht is opgenomen in tabel 3-4. Daaruit volgt dat loofbos een veel lager waterverbruik heeft in vergelijking met maïs en donker naaldbos, in ordegrrootte vergelijkbaar is met agrarisch grasland en natte heide, maar hoger dan kaal zand of droge heiden.

Tabel 3-4 Jaarlijkse neerslag (KNMI 2011), waterverbruik (som van interceptieverdamping en transpiratie en neerslagoverschot beschikbaar voor infiltratie voor verschillende vegetatietypen (Dolman & Oosterbaan 1986; Spijksma et al. 1995; Elbers et al. 1996) en het relatieve verschil ten opzichte van het referentiegrasland (ie. agrarisch cultuurgrasland)).

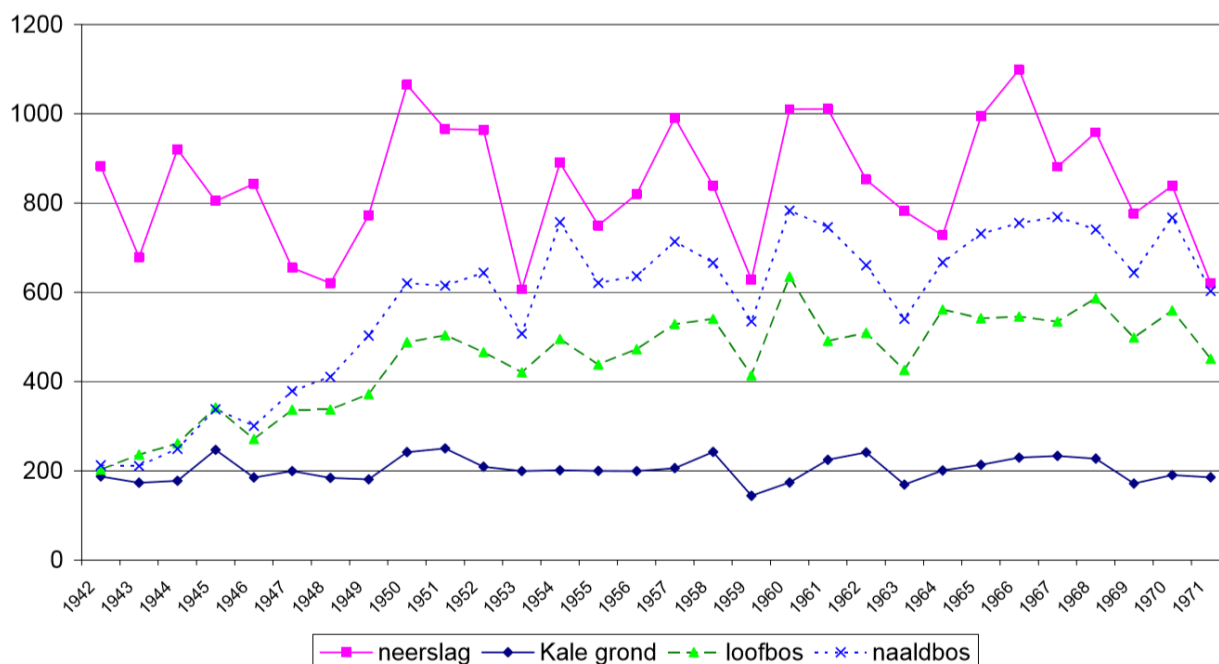
Vegetatietype	Gemiddelde hoeveelheid neerslag (mm j ⁻¹)	Waterverbruik (mm j ⁻¹)	Neerslagoverschot beschikbaar voor infiltratie (mm j ⁻¹)	Water beschikbaar voor infiltratie ten opzichte van agrarisch grasland (mm j ⁻¹)
Agrarisch grasland	800-825	540	260-285	-
Maïs		702	98-123	-162
Stuifzand ¹		162	638-663	+378
Droge heide ²		324	476-501	+216
Natte heide		500	300-325	+40
Gemengd loofbos		555	245-270	-15
Licht naaldbos		674	126-151	-134
Donker naaldbos		730	70-95	-190

¹ Voor zover bekend zijn de stuifzanden van de hogere zandgronden niet bemeten. Bijgaande getallen zijn ontleend aan Spijksma et al. (1995). Zij hebben gemeten in kaal zand in de kustduinen en komen tot een gewasfactor van 0,3. Die factor is hier gebruikt. Twijfelachtig is echter, in hoeverre kustduinen representaties zijn voor binnenlandse stuifzanden, gegeven dat Spijksma et al. (1995) ook het belang van windwerking illustreren en dat aannemelijk is dat kustduinen hierin aanmerkelijk verschillen van binnenlandse stuifzanden.

² Voor droge heiden, zéker in Nederland, ontbreken (voor zover bekend nog steeds) betrouwbare getallen (Spijksma et al. 1995). Op basis van buitenlandse studies komen Spijksma et al. (1995) tot een gewasfactor van 0,6, welke hier is gebruikt.

Belangrijke kanttekening bij tabel 3-4 is dat deze is gebaseerd op langjarige gemiddelden en gemiddelden uit onderzoek. Evident is, dat de weersomstandigheden per jaar fluctueren en dat deze hun weerslag hebben niet alleen op neerslag, maar ook op het waterverbruik van vegetatie. Figuur 3-6 uit Dolman en Moors (1994) illustreert dit. Vanaf het moment dat het bos “volwassen” is (circa 1950 in figuur 3-6, waar de verdamping ongeveer stabiliseert), varieert het waterverbruik tussen de 507 en 783 mm j⁻¹. Tegelijkertijd varieert de neerslag tussen circa 600 en 1100 mm j⁻¹. Figuur 3-6 laat zien dat de afstand tussen de lijnen voor verdamping (roze) en verdamping (groen voor loofbos) per jaar anders is. Hoe groter de afstand, hoe meer water beschikbaar is voor infiltratie. Grofweg varieert de hoeveelheid water beschikbaar voor infiltratie in figuur 3-6 dus tussen 0 (1971) en ~400 mm j⁻¹ (1950-52).

Neerslag en verdamping (mm/jaar)



Figuur 3-6 Gemiddelde jaarlijkse neerslag en verdamping van kale grond, loofbos en naaldbos in de lysimeters (zie kader begrippenlijst). Uit Dolman en Moors (1994)

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “Wat zijn vanuit de watervoorziening de beste mogelijkheden voor nieuw bos?” moet zijn:

- Dat in de intrekgebieden (vaak de hoge en droge plateau's van het beekdallandschap, maar afhankelijk van de schaal van het systeem waarmee wordt gewerkt) het verhogen van de infiltratiecapaciteit van de bodem het meest effectief is, maar dat de effectiviteit afhangt van het actuele landgebruik. In vergelijking met alle andere vormen van landgebruik vergroot bos de infiltratiecapaciteit aanzienlijk, terwijl een hoger aandeel organisch stofgehalte in de bodem tegelijkertijd zorgt voor een beter watervasthoudend vermogen van de bodem.

Hoewel in vergelijking met maïsteelt en naaldbos (bijvoorbeeld Droog bos met productie (N16.03)) de daadwerkelijk voor infiltratie beschikbare hoeveelheid water onder loofbos toeneemt, is deze vergelijkbaar met regulier agrarisch grasland. De verdamping van kale bodem (akkerbouw, stuifzand of teelt onder plastic of glas) is nog lager, maar water infiltreert moeilijker in vegetatielose bodems met als resultaat aanmerkelijk meer oppervlakkige afstroom en een lagere grondwateraanvulling (wel wordt het oppervlaktewatersysteem meer belast, zie ook figuur 3-2).

De gepresenteerde resultaten zijn met name gebaseerd op resultaten afkomstig van zandgrond. Echter, zoals hiervoor al aangehaald, is het vochtvasthoudend vermogen van verschillende bodems (ie. zand, klei, veen) anders, maar zijn de hierboven beschreven effecten afhankelijk van de fysiologische eigenschappen van vegetatie en niet primair van bodemeigenschappen. Dat betekent dat de beschreven principes gelden “onafhankelijk” van bodemtype, maar dat het exacte kwantitatieve verschil per bodemtype iets anders uit kan pakken

Kortom: Door de verbeterde bodemstructuur en het hoger aandeel organisch materiaal leidt bos altijd tot een toegenomen infiltratiecapaciteit en een beter watervasthoudend vermogen voor water dat de bodem bereikt, maar afhankelijk van het actuele landgebruik neemt de hoeveelheid water beschikbaar voor infiltratie niet altijd in betekende mate toe.

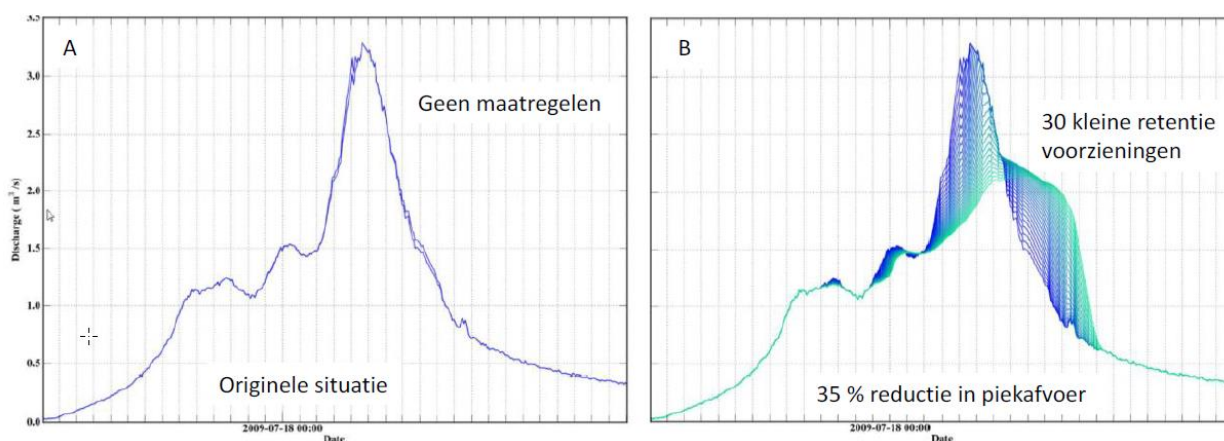
Ontwikkeling van nieuw loofbos zal dan ook de grootste winst opleveren wanneer dat gebeurt op areaal dat nu niet als grasland in gebruik is, waarbij de grootste winst te behalen is in de intrekgebieden. Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- | | |
|---|---------------|
| ■ Naaldbos of maïsteelt in intrekgebied | Zeer Kansrijk |
| ■ Natuurgrond of grasland in intrekgebied | Neutraal |
| ■ Buiten de intrekgebieden | Kansarm |

3.2.5 Wat zijn vanuit het voorkomen van wateroverlast de beste mogelijkheden voor nieuw bos?

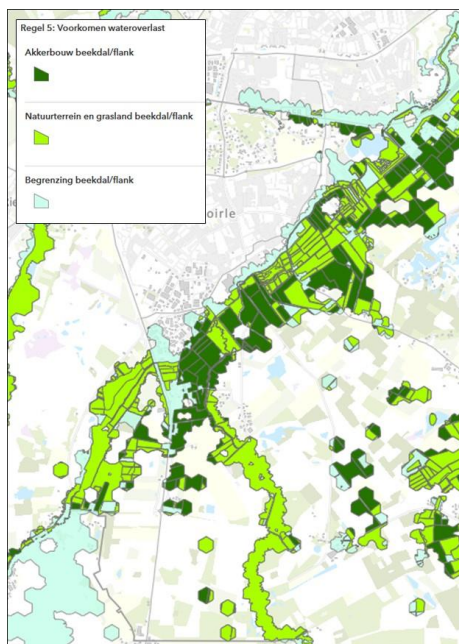
In paragraaf 3.2.4.1 zagen we dat landgebruik grote invloed heeft op de infiltratiecapaciteit van de bodem; het bepaalt de hoeveelheid neerslag die infiltreert en de hoeveelheid die aan de oppervlakte blijft en oppervlakkig afstroomt, maar ook de snelheid waarmee dat gebeurt. Overigens betreft het hier niet zozeer afstroming óver het oppervlak (dat komt met name voor bij braakliggende akkers, verhard oppervlak of stuifzanden), maar afstroming *nét* onder het maaiveld (throughflow; Van Deursen et al. 2013). Drainage heeft hier grote invloed op, omdat ze deze trage waterstroom onderschept en vervolgens versneld afvoert (Henning & Hilgert 2007; Nisbet et al. 2011, 2015; Wilson et al. 2011; Van Deursen et al. 2013).

Eigenlijk begint het voorkomen van wateroverlast al op de plateau's van het beekdallandschap (paragraaf 3.2.4), gaat dit door op de flanken en eindigt het op de vloer van het dal. Voorkomen van wateroverlast vraagt een beekdal-brede blik, waarbij kleine lokale maatregelen door het hele beekdal bewezen effectief zijn (e.g. Quinn et al. 2011) als het gaat om het voorkomen van wateroverlast (Figuur 3-7).



Figuur 3-7 Effect op piekafvoer door kleine maatregelen in het hele beekdal voor het stroomgebied van de Belford Burn (Engeland). A: Afvoer zonder maatregelen. B: Afvoer met een dertigtal kleine maatregelen verspreid door het beekdal. De gearceerde delen geven het verschil in afvoer tussen A en B. Naar: Quinn et al. 2011.

Maatregelen die bedoeld zijn om directe toestroom van (regen)water naar de beek te temperen hebben het meeste effect op de dalflanken (Figuur 3-2). Zo laten Van Velzen et al. (2002) zien dat percelen onder akkerbouw het grootste deel van het jaar geen weerstand (tegen afstroming) hebben en laten Henning & Hilgert (2007) overtuigend zien dat drainage van percelen in landbouwkundig gebruik de kans op piekafvoeren in beken sterk doet toenemen; de afvoeren in de beken reageren steeds sterker op buien. Bijkomend probleem is erosie van de hellingen. Hierdoor neemt de sedimentlast in de beek toe. Ruwere, meer gevarieerde vegetatie (zie paragraaf 3.2.4.1), bijvoorbeeld bossen of kruidenrijk grasland zorgen voor weerstand (zie Van Velzen et al. 2002), waardoor zij in staat zijn het water te remmen waardoor dit (langer) de tijd krijgt te infiltreren (Yunusa et al. 2002; Gregory et al. 2010; Forbes et al. 2015). Het verruwen van de dalflanken, bijvoorbeeld met nieuw bos, is de voornaamste manier om al te snelle oppervlakkige afstroom van regenwater te voorkomen.



Afbeelding 3 Beeld kansenskaart wateroverlast

Beken zelf kenmerken zich van nature door in tijd én ruimte wisselende afvoeren. Die zijn systeemeigen (Ward et al. 2000) en verantwoordelijk voor de landschappelijke kwaliteit en de soortenrijkdom van een beek of rivier (Junk et al. 1989; Dynesius & Nilsson 1994). Dat principe wordt mooi beschreven in de samenvattende studie van Ward et al. (2002). Zij laten zien dat in natuurlijke rivier- en beeksystemen sneller stromende delen en delen waar het water niet of nauwelijks stroomt elkaar afwisselen. In de sneller stromende delen is vooral sprake van afvoer van water, terwijl in de delen met niet of nauwelijks stroming water ook verdampt, wordt opgenomen in en verdampt via de vegetatie en infiltreert. De delen waar de beek niet of nauwelijks stroomt worden groter, naarmate het verval afneemt, zoals doorgaans het geval is richting de monding van een rivier of beek. In deze langzaam stromende tot stilstaande delen van de beek vindt interactie tussen grond- en oppervlaktewater plaats, waardoor een veelheid aan habitats ontstaat, gevolgd door een hoge biodiversiteit (Brunke & Gonser 1997). In feite herkennen we in deze beschrijving de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water, bijvoorbeeld de doorstroommoerassen of moerasbeken (Verdonschot et al. 2016b; Verdonschot & Verdonschot 2017, 2018). De daarbij behorende vegetaties werken als de inmiddels welbekende figuurlijke “spons”; door hun hoge ruwheid zijn ze in staat om veel water vast te houden, maar ook om water te remmen en dit langzaam en gelijkmatig weer af te geven. Van nature gebeurt dit, zoals gezegd, in vlakke(re) delen van het beekdal. Het is dan ook nog maar de vraag of de Brabantse beken zoals we die nu kennen, gegeven de uitgebreide veenvoorkomens, genoeg kracht hebben gehad om tot meandering te komen (cf. Candel et al. 2020).

Inderdaad laten Van Velzen et al. (2002) zien dat vegetatietypen verschillen in de mate van weerstand die ze veroorzaken. Gaan we uit van graslanden in agrarisch beheer (weerstand $\sim 0.8^6$) dan valt op dat soortenrijk grasland een hogere weerstand heeft (weerstand tot ~ 2), terwijl moerasvegetaties en elzenbroekbossen weerstanden laten zien van respectievelijk tot ~ 16 en ~ 50 . Dit betekent dat de vegetatie in en direct langs de beken, op de vloer van het beekdal, wel degelijke een bijdrage kan leveren aan het vasthouden van water en het vertragen van afvoer. Zoals in paragraaf 3.2.4 uitgewerkt, heeft dit geen relatie met grondwateraanvulling.

Verruwen van de dalflank is dan ook goed te combineren met het verruwen van de vegetatie in het beekdal en op de oevers van de beek. Aandacht en respect voor aangrenzend landgebruik -wateroverlast door opstuwing- is uiteraard nodig!

⁶ k-waarde [m]

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “*Wat zijn vanuit het voorkomen van wateroverlast de beste mogelijkheden voor nieuw bos?*” moet zijn:

- Het verruwen van de dalflanken door ontwikkeling van bijvoorbeeld bos en het verhogen van de weerstand op de dalvloer en in de beek zelf (op de vlakke delen waar dat van nature gebeurt) vanuit wateroverlast gezien de meest optimale plekken zijn. De optimale oplossing vraagt om een beekdal brede blik en veel kleine, verspreide maar effectieve maatregelen.

Ontwikkeling van nieuw bos zal, net als hiervoor in paragraaf 3.2.4, dan ook de grootste winst opleveren wanneer dat gebeurt op areaal dat een groot deel van het jaar vrij is van vegetatie, verhard (inclusief teelt onder plastic) of bebouwd is, waarbij de grootste winst te behalen is op de flanken en op de vloer van het beekdal. Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- | | |
|---|---------------|
| ■ Verruwing “kaal” gebied op de flanken of natuurlijke laagte | Zeer Kansrijk |
| ■ Verruwing natuurgrond op de flanken of natuurlijke laagte | Kansrijk |
| ■ Andere gebieden | Kansarm |

3.2.6 Wat zijn vanuit waterveiligheid de beste mogelijkheden voor nieuw bos?

Deze onderzoeksvraag heeft belangrijke raakvlakken met de vraag gevat in paragraaf 0 (wateroverlast), met dat verschil dat (primaire) keringen een belangrijk onderwerp zijn als het gaat over waterveiligheid. Dergelijke keringen kennen een beschermingszone, in geval van Waterschap De Dommel vastgelegd in de Keur (Beschermingszone A). In die zone gelden regels, ook ten aanzien van begroeiing. Zo mag in het beheergebied van Waterschap De Dommel op grond van de Keur niet worden voorzien in beplanting die van nature hoger wordt dan 5 meter boven maaiveld (in verband met onbelemmerd beheer en onderhoud) en mogen nieuwe bomen en struiken uitsluitend op een afstand verder dan 10 meter uit de buitenteen en verder dan vier meter uit de binnenteen van de primaire en regionale waterkering worden geplant. Andere waterbeheerders hebben hiervoor eigen beleid, waarbij de gemene deler is het waarborgen van de veiligheid van de keringen. Dat schept randvoorwaarden aan de locatie van nieuw bos, maar doet niet af aan de in paragraaf 0 geschetste voor- en nadelen.

Daar waar Rijkswaterstaat de waterbeheerder is, vaak de grote rivieren, geldt een vastgestelde “vegetatielegger” met de daarbij behorende, berekende opstuwing die ten gevolge van een nieuwe ontwikkeling wel mag afnemen of ten minste gelijk moet blijven. Een toename is niet toegestaan. Dat maakt dat in geval van natuurontwikkeling in uiterwaarden altijd gezocht zal moeten worden naar de balans tussen doorstroming en vegetatieontwikkeling in het licht van de toelaatbare opstuwing. Dat kan de mogelijkheden om bos te realiseren ernstig beperken, maar doet niet af aan de in paragraaf 0 geschetste voor- en nadelen.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “*Wat zijn vanuit waterveiligheid de beste mogelijkheden voor nieuw bos?*” gezien vanuit het beekdallandschap (dus niet de grote rivieren) moet zijn:

- Buiten de in vigerend beleid vastgelegde veiligheidszones rond keringen.

Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- | | |
|--|----------|
| ■ Buiten de in vigerend beleid vastgelegde veiligheidszones rond keringen | Kansrijk |
| ■ Binnen de in vigerende beleid vastgelegde veiligheidszones rond keringen | Kansarm |

3.2.7 Op welke plekken leveren de verschillende bostypen het meeste op voor de biodiversiteit?

Biodiversiteit is een interessant begrip dat veel definities kent en makkelijk tot discussie over die definitie leidt waarbij het belang van biodiversiteit (in welke vorm dan ook) nogal eens op de achtergrond raakt. Hier sluiten we aan bij een uitleg die goed past bij de ecologische theorie (Odum 1971; Townsend et al. 2000), namelijk functionele diversiteit. Daarbij is leidend dat zoveel mogelijk niches (“unieke plekken”)⁷ in een systeem bezet zijn, waarmee het systeem zo compleet mogelijk is. Daarnaast is ook het behoud en ontwikkeling van belangrijke functies en de diversiteit aan verschillende functies in het ecosysteem belangrijk -die in veel gevallen ook samenhangen met omvang van aaneengesloten bosareaal- en daarmee dus van de soorten die deze functies vervullen. Dit ondersteunt deze benadering. Daar ligt een belangrijke relatie met standplaats (Carpenter & Levin 2013), die voor de hier relevante bostypen is uitgewerkt in paragraaf 3.2.1 (Tabel 3-1). Dat betekent dat nieuwe bossen het meest opleveren voor biodiversiteit, wanneer deze worden gerealiseerd op een plaats waar zoveel mogelijk niches gevuld kunnen worden, ofwel binnen hun standplaatsseisen.

Functionele biodiversiteit gaat verder dan alleen bomen. Het gaat ook over het habitat of leefgebied dat bomen vormen of helpen te vormen voor andere organismen als planten, vogels, zoogdieren, ongewervelden et cetera. Zo kent elk van de hier relevante bostypen “kenmerkende soorten” (Bal 2001); een concrete uitwerking van voorgaande. Die kenmerkende soorten zijn goeddeels weer overgenomen in de Index Natuur en Landschap (BIJ12 2021) en worden daar gebruikt om de kwaliteit van een beheertype uit te drukken en vormen zo de basis voor subsidieverlening.

Gegeven dat soorten verschillen in mobiliteit en dispersievermogen, zijn bereikbaarheid en verbondenheid belangrijke aspecten als het gaat om functionele biodiversiteit. Soorten moeten een leefgebied wel kunnen bereiken. Niet voor niets wordt versnippering (het tegenovergestelde van verbondenheid) al decennialang gezien als één van de belangrijkste oorzaken van de achteruitgang van biodiversiteit (e.g. Alterra 2001). Dat geldt zeker voor bossen, waar soorten zich vanwege het stabiele, voorspelbare karakter van het leefgebied dat natuurlijke bossen vormen vaak kenmerken door een laag dispersievermogen of een hoge plaatstrouw.

Maatregelen of strategieën bedacht om het Nederlandse landschap voor flora en fauna weer doordringbaar en leefbaar te maken (Alterra 2001; Provincie Noord-Brabant 2005), zijn dan ook relevant voor de functie die nieuwe bossen kunnen hebben voor biodiversiteit. Ze moeten (Odum 1971; Alterra 2001 en referenties daarin):

- Bijdragen aan het vergroten van bestaande bosgebieden en/of;
- Bijdragen aan het verdichten van het bestaande netwerk aan leefgebieden en/of;
- Bijdragen aan het verbinden van leefgebieden (als stapsteen of als verbindingszone, een functie die beken van nature hebben voor veel soorten).

⁷ Ook het begrip “niche” kent verschillende interpretaties (Carpenter & Levin 2013), al delen ze allemaal dat het gaat over “het volume”, begrensd door limiterende factoren als voedsel, concurrentie, rust- en verblijfplaatsen et cetera, waarbinnen een populatie kan blijven voortbestaan..

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “Op welke plekken leveren de verschillende bostypen het meeste op voor de biodiversiteit?” moet zijn:

- Daar waar het nieuwe bos een bijdrage levert aan het leefbaar- en doordringbaar maken van het landschap voor (bos- en beekgebonden) flora en fauna en aan het vergroten of verbeteren van het leefgebied van deze soorten

Met referentie aan de hiervoor samengebracht informatie leidt dat tot de volgende kennisregel:

- | | |
|---|---------------|
| ■ Binnen standplaatseisen in bestaand netwerk | Zeer Kansrijk |
| ■ Buiten standplaatseisen in bestaand netwerk | Kansrijk |
| ■ Buiten standplaatseisen en geïsoleerd | Kansarm |

Algemene handvatten voor afstanden zijn moeilijk te geven, omdat ze per soort (groep) verschillen, al is duidelijk dat bijvoorbeeld sommige soorten amfibieën en reptielen, maar ook veel vaatplanten of insecten zich moeilijk verspreiden (Grashof-Bokdam 1997; Beentjes & Koopman 2000; Brunet 2004).

Handreikingen voor afstand- en inrichtingscriteria zijn terug te vinden in onder meer (Kruidering et al. 2005 en opvolgers; Provincie Noord-Brabant 2005), waarin terug te vinden is dat het netwerk aan leefgebieden niet wordt doorsneden door bebouwing of ander landgebruik en dat stapstenen minimaal een á twee hectare groot zijn en niet meer dan een kilometer uit elkaar liggen. Voor bijvoorbeeld amfibieën geldt een afstand van 300 tot 400 meter, waarbij de voor die soorten geschikte leefgebieden uiteraard onderdeel (kunnen) zijn van een groter bosgebied of het beekdallandschap als geheel. Een minimale afmeting van een bos functioneel voor biodiversiteit is niet te geven (e.g. Katayama et al. 2014). Dat hangt af van beoogde soorten en beheer (Humphrey 2005), waarbij ook kleine, goed ontwikkelde bossen van belang kunnen zijn (Götmark & Thorell 2003). Hoewel de onderzoeksresultaten verschillen, is het waardevol om een groter bosreservaat te omgeven met kleine bosgebieden binnen circa twee kilometer (Humphrey 2005). Dat is hier vertaald naar een minimale omvang van 15 hectare, waarbij nieuw bos de hoogste bijdrage levert wanneer dit binnen 1,5 kilometer wordt gerealiseerd (connectiviteit verbeteren).

3.2.8 Welk type bos levert het meest op qua vastlegging koolstof?

Vooropgesteld: de literatuur die beschikbaar is voor dit onderwerp, zij het CO₂-vastlegging door bomen, venen of andere vegetatie, is dermate uitgebreid en veelomvattend (in beginsel is het mogelijk om op basis van literatuuronderzoek de reis van een CO₂ molecuul door een plant naar de globale CO₂-kringloop te beschrijven) dat in het kader van deze rapportage alleen volstaan kan worden met een samenvatting op hoofdlijnen. Voor het beantwoorden van deze vraag is dat geen probleem. Het is zeker wanneer het gaat om het duurzaam vastleggen van CO₂ ook materie die verre van uitgekristalliseerd is. De meningen verschillen en de effectiviteit lijkt af te hangen van het achterliggende belang van de betreffende bron. Dit is een belangrijke kanttekening bij navolgende. Wat in ieder geval van belang is, is dat CO₂ alleen duurzaam in (productie)bos kan worden vastgelegd, wanneer niet geproduceerd wordt voor bio-energie, maar voor gebruik in hoogwaardige producten (zaaghout in plaats van brandhout), waardoor ook na verjongen van het bos nog steeds sprake is van vastlegging van CO₂. Alleen dan is sprake van langdurige CO₂-reductie (Schmidt & Van Duinhoven 2016). Overigens doet voorgaande geen recht aan het gegeven dat met het gebruik van biobrandstof wel gebruik van fossiele bronnen wordt verminderd. Dit staat uiteraard ook gelijk aan een reductie van de CO₂-emissie (vermeden emissie).

Alle planten dus ook bomen, leggen CO₂ (koolstofdioxide) vast. Dat is inherent aan fotosynthese, waarbij - in héél kort bestek- water en CO₂ uit de lucht worden omgezet in bouw- en voedingsstoffen nodig voor groei en overleven (e.g. Lambers et al. 1998; Larcher 2003). Als (delen) van de planten afsterven, komt het vastgelegde CO₂ weer vrij. Daarom hebben alleen houtige gewassen een rol van betekenis in het vastleggen van CO₂: ze slaan het opgenomen CO₂ langere tijd, in geval van bomen decennia lang op. Om eenzelfde reden zijn venen -de bestaan bij gratie van het accumuleren van niet of nauwelijks verteerde plantenresten- belangrijke opslagplaatsen van CO₂ (zie IUCN (2017) voor een bondige maar heldere samenvatting).

Een eenvoudige vuistregel is dan ook: hoe meer houtig volume een plant heeft, hoe meer CO₂ daarin is vastgelegd. Logische gevolgtrekking is dan, dat in bomen verreweg het meeste CO₂ is vastgelegd in vergelijking met andere vormen van beplanting.

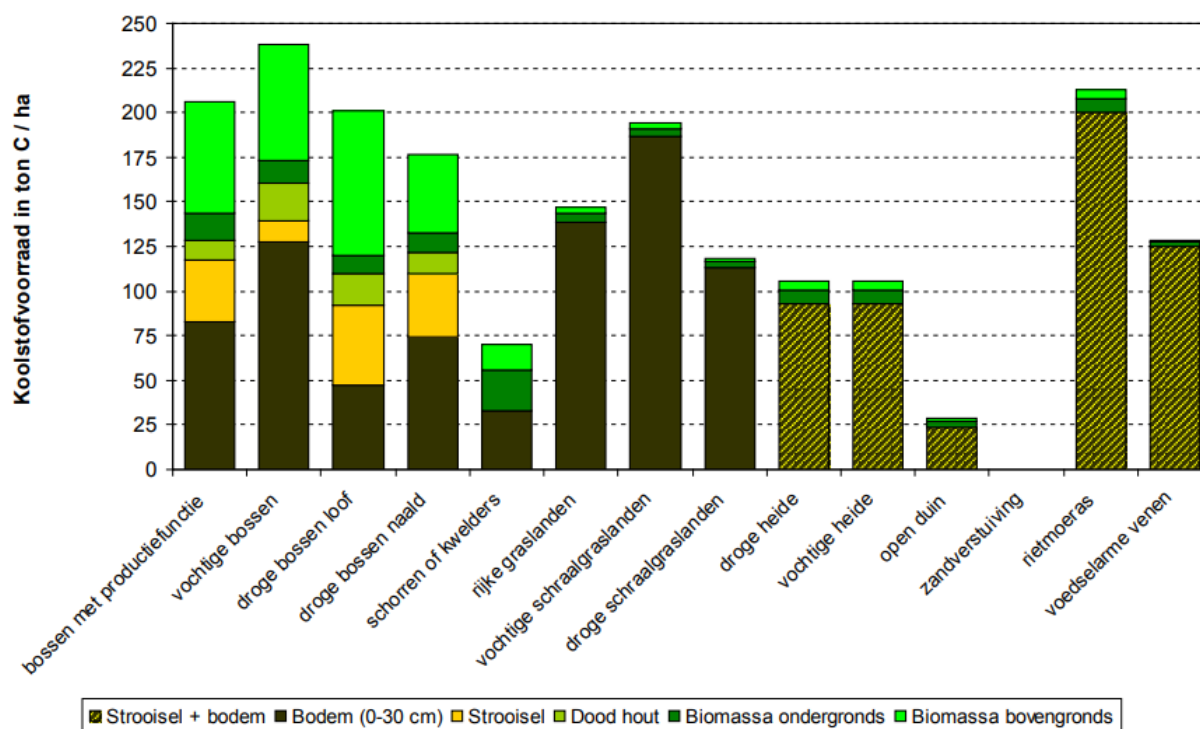
Aanleg van nieuw bos op plaatsen waar eerder sprake was van ander landgebruik levert dan ook via twee sporen een bijdrage aan emissiereductie, namelijk via (Boosten et al. 2020):

- Vastleggen van CO₂ in houtige gewassen
- De vermeden CO₂-emissie door de verandering van landgebruik.

Wat betreft het vastleggen van CO₂ in houtige gewassen kan een gemiddelde van 400 ton CO₂ h⁻¹ worden aangehouden voor de eerste 50 tot 60 jaar, waarbij in de eerste 10 jaar gemiddeld 4,6 ton CO₂ h⁻¹ j⁻¹ en daarna circa 9,1 ton CO₂ h⁻¹ j⁻¹ wordt vastgelegd (Boosten et al. 2020). Overigens onderschrijven Boosten et al. (2020) dat dergelijke getallen alleen gehaald kunnen worden wanneer soorten worden aangeplant die bij de standplaats (Tabel 3-2) passen. Greig (2015) laat zien dat in de eerste 10 jaar (Sitkaspar (*Picea sitchensis*)) 2,2 ton CO₂ per jaar per hectare wordt vastgelegd. In de leeftijd tussen 11-20 jaar neemt dit toe tot 16,8 ton, oplopend tot 24,8 ton bij een leeftijd tussen 30 en 40 jaar. Dit vertaalt naar een CO₂-opname van ongeveer 17 ton CO₂ ha⁻¹ j⁻¹. Bij loofbossen gaat het om circa 11 ton CO₂ ha⁻¹ j⁻¹. Deze getallen zijn iets optimistischer dan de getallen genoemd in Boosten et al. (2020).

Uiteraard bestaan verschillen tussen bomen (Hoffman 2009) en dus tussen beheertypen (Lesschen et al. 2012). Voor zover bekend zijn Lesschen et al. (2012) de enigen die hebben gekeken naar de koolstofvoorraden onder de hier relevante (Tabel 3-1) bostypen. Hun bevindingen zijn opgenomen in figuur 3-8.

Belangrijke conclusie uit het werk van Lesschen et al. (2012) is dat voor de meeste natuurtypen de voorraad koolstof ondergronds vele malen hoger dan de voorraad die bovengronds, maar dat juist bossen hierop de uitzondering vormen (Figuur 3-8). Daar zijn bovengronds per hectare meer tonnen koolstof aanwezig.



Figuur 3-8 Koolstofvoorraden in vegetatie en bodem van verschillende typen natuurterreinen Uit: Lesschen et al. (2012)

Verder maken ook zij inzichtelijk dat bossen in vergelijking met andere natuurtypen meer koolstof vastleggen, maar ook dat vochtige bossen (vergelijkbaar met Rivier- en Beekbegeleidend bos N14.01 of Hoog- en Laagveenbos N14.02) in staat zijn om relatief het meeste CO₂ vast te leggen, waarvan ook een grote component in de bodem. Dat zijn de bij deze beheertypes horende venige (want permanent natte) moerige bodems. Om die reden vindt onder vochtige schraalgraslanden (vergelijkbaar met Vochtig hooiland (N10.02), maar meer nog Nat schraalland (N10.01) veel CO₂-vastlegging plaats. Dat betekent overigens ook dat vanuit CO₂ gezien vochtige graslanden of rietmoerassen (en in beginsel alle veenvormende vegetaties) een goede vervanger zijn voor vochtige bossen in de laagste, natste delen van het beekdal. Droge naaldbossen leggen van de hier relevante bostypen (Tabel 3-1) relatief het minste CO₂ vast.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “Welk type bos levert het meest op qua vastlegging koolstof?” moet zijn:

- Vochtige bossen (N41.01, N14.02 en N16.04) leggen meer CO₂ vast in vergelijking met droge bostypen (N14.03, N15.02, N16.03). Voor bijbehorende abiotiek zie tabel 3-2.

Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- Vochtig bos of vochtige graslanden Zeer kansrijk
- Andere bostypen Kansrijk

3.2.9 Waar liggen nog opgaven vanuit Natuurnetwerk Nederland die nog ingevuld moeten worden?

De opgaves die nog volgen uit de verplichtingen van Natuurnetwerk Nederland zijn vastgelegd in de provinciale natuurbeheerplannen (e.g. Provincie Noord-Brabant 2020b). Hier hebben deze gebieden twee codes, de systematiek van de Index Natuur en Landschap (BIJ12 2021) volgend, namelijk:

- N00.01 Nog om te vormen naar natuur
- N00.02 Omvorming – Kwaliteitsimpuls

Die gebieden zijn wél aangewezen als onderdeel van Natuurnetwerk Nederland maar nog niet ingericht. Hier kan nieuw bos een van de overwegingen zijn, zeker wanneer andere “natuurtypes” als gevolg van het nu nog vigerende landgebruik niet binnen bereik komen (denk dan aan diepe fosfaatverzaaiing of de onmogelijkheid om de hydrologische uitgangssituatie te herstellen conform tabel 3-2). Daarbij horen -in geval van Noord-Brabant- ook de zogenoemde “Attentiegebieden EHS”, waar het niet toegestaan is te zorgen voor meer verdamping (zie paragraaf 0) of ontwatering, maar ook de van grondwaterafhankelijke natuurgebieden binnen Natuurnetwerk Nederland waar in veel gevallen nog een opgave ligt vanuit verdrogingsbestrijding (e.g. Runhaar et al. 2017).

Voor het overige biedt het beleid rond Natuurnetwerk Nederland weinig handvatten om de opgaven buiten de bestaande begrenzing te duiden (maar zie voorgaande paragrafen)⁸.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “Waar liggen nog opgaven vanuit het Natuurnetwerk Nederland die nog ingevuld moeten worden?” moet zijn:

- Die gebieden waar vanuit Natuurnetwerk Nederland nog een inrichtingsopgave ligt (aangeduid met N00.01 of N00.02), inclusief van grondwaterafhankelijke gebieden waar nog een opgave ligt vanuit verdrogingsbestrijding.

Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- Areaal aangeduid als N00.01 of N00.02 dan wel van grondwater afhankelijke natuur Kansrijk
- Andere gebieden Kansarm

⁸ In de Brabantse bossenstrategie wordt ook gezocht naar ruimte voor nieuw bos op arealen die nu zijn opgenomen als N12.02; Kruiden- en Faunairijk grasland. In totaal gaat het om 5000 hectare. Daar waar op grond van abiotiek, met inbegrip van haalbare inrichtingsmaatregelen, dit beheer- of ambitietype is dat een locatie- en project-specifieke afweging, waarbij ook de intrinsieke waarde van goed ontwikkeld Kruiden- en Faunairijk grasland (dat ook uiterst zeldzaam is geworden) meeweegt. Vanwege het locatie specifieke karakter is dit aspect niet meegenomen in deze kennisregel.

3.2.10 Wat zijn de ‘slechtste gebieden’ vanuit de opgaven gezien om bos te ontwikkelen?

Het makkelijke antwoord op deze vraag is *“Al die gebieden die in voorgaande vragen als “kansarm” uit de bus zijn gekomen”* (Tabel 3-6). Het lijkt een open deur, maar wanneer het doen toenemen van infiltratie het doel van het aanleggen van nieuw bos is, zijn intrekgebieden die nu in regulier agrarisch gebruik zijn kansrijker dan gebieden dicht bij de beek (maar zie verder), terwijl vanuit CO₂-opslag bekeken juist dat de gebieden zijn die als kansrijk gelden. Voorgaande illustreert dat, passend bij de opzet van de kansenkaart, kansrijke of kansarme gebieden kunnen verschillen per belanghebbende of afhankelijk van de accenten van het vigerende beleid. Er is niet één kansenkaart. Belangrijkste boodschap is dat nieuw bos niet dé oplossing is voor alle problemen en dat het ook mogelijk kan zijn om vergelijkbare doelen te halen met andere beheertypen. Bijvoorbeeld CO₂ vastlegging met behulp van moeras of Nat schraalland (N10.01) in plaats van Rivier- en Beekbegeleidend bos (N14.01). Een integrale oplossing, gebaseerd op bewuste en geïnformeerde keuzes is altijd nodig en kennis van het ecohydrologisch systeem is daarvoor een objectief startpunt.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag *“Wat zijn de ‘slechtste gebieden’ vanuit de opgaven gezien om bos te ontwikkelen?”* moet zijn:

- Die gebieden waar nieuw bos geen aantoonbare bijdrage levert aan de te behalen doelstelling. Die gebieden kunnen dan ook afhankelijk van de doelstelling variëren.

Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- Een integrale oplossing, gebaseerd op bewuste en geïnformeerde keuzes is altijd nodig en kennis van het ecohydrologisch systeem is daarvoor een objectief startpunt.

Vanzelfsprekend is hiervoor op voorhand geen kansenkaart te maken.

3.2.11 Welk effect hebben nieuw bos en bomen op kosten voor beheer en onderhoud door waterschappen?

Beheer en onderhoud van waterlopen is een belangrijke kostenpost voor waterschappen (Unie van Waterschappen 2006), waarbij het laag houden van de weerstand van waterlopen met behulp van maaien voor aanliggende functies anders dan natuur een belangrijke post vormt. In paragraaf 0 zagen we al dat de aanleg of ontwikkeling van nieuw bos in het licht van de Kaderrichtlijn Water via beschaduwingspositief werkt op de waterplantensamenstelling van de beek. Uit onder meer STOWA (2017), waarin is uitgewerkt dat met name lichtbeschikbaarheid, voedselrijkdom, en stroomsnelheid de belangrijkste sturende factoren voor waterplantenontwikkeling zijn, volgt dan ook dat beschaduwingspositief niet alleen positief werkt voor de verplichtingen uit de Kaderrichtlijn Water, maar ook positief kan werken voor de portemonnee. Immers, de vegetatiebedekking in de beek hangt sterk samen met de mate van beschaduwingspositief op de beek, waarbij een hogere mate van beschaduwingspositief zorgt voor minder vegetatiebedekking in de waterloop en dus voor een lagere beheerinspanning. Niet voor niets geldt het lichtklimaat als een van de belangrijkste ecologische sleutelfactoren voor de ontwikkeling van waterlichamen (STOWA 2015). Kanttekening hierbij is dat vooralsnog exacte cijfers ontbreken (Unie van Waterschappen 2006).

Omdat exacte getallen ontbreken en bovendien te verwachten is dat verschillende waterbeheerders verschillende manieren gebruiken om kosten te meten (Unie van Waterschappen 2006), is hier voor een andere benadering gekozen, namelijk dat deel van de kostprijzen uit het Subsidiestelsel Natuur en Landschap dat gereserveerd is voor onderhoud van waterlopen. Hoewel geen directe maat voor de daadwerkelijke noodzakelijke beheerinspanning, geven de kostprijzen zoals die gelden onder het Subsidiestelsel Natuur en Landschap wel een indicatie van de verwachte beheerinspanning (Tabel 3-5) die bovendien voor iedereen gelijk is. De standaardvergoedingen voor onderhoud van waterlopen onder bostypen bos zijn meest een factor tien lager dan, bijvoorbeeld, de vergoeding beschikbaar voor onderhoud van waterlopen met een natuurfunctie (Beek en bron N03.01).

Tabel 3-5 Standaardkostprijzen ($\text{€ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$) voor onderhoud van waterlopen onder enkele beheertypen volgens het Subsidiestelsel Natuur en Landschap (BIJ12 2021). Bostypen zijn schuingedrukt.

Beheertype	Kostprijs ($\text{€ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$)
N03.01 Beek en bron	29,87
N05.01 Moeras (vervallen)	32,91
N10.01 Nat schraalgrasland	35,73
N10.02 Vochtig hooiland	65,81
N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos	2,29
N14.02 Hoog- en laagveenbos	2,29
N14.03 Haagbeuken- en essenbos	2,29
N15.02 Dennen-, eiken-, en beukenbos	1,15
N16.03 Droog bos met productie	1,07
N16.04 Vochtig bos met productie	10,73

Hierbij hoort echter de kanttekening dat jonge aanplant of opslag in de eerste jaren nog geen of slechts een gering effect zal hebben op de vegetatiebedekking in de waterloop. Daarnaast kan het zijn dat deze nieuwe aanplant de toegankelijkheid voor beheer en onderhoud bemoeilijkt. Daarom moet rekening worden gehouden met hogere beheer- en onderhoudskosten in de eerste jaren na aanplant, tot ongeveer vijf jaar (Verdonschot et al. 2017). Daarbij is het mogelijk om hierop te anticiperen, bijvoorbeeld door eerst

enkel de zuidoever te beplanten zodat de watergang via de noordoever nog toegankelijk is voor onderhoud of door de beplanting op een oever gefaseerd uit te voeren zodat er ruimte blijft voor een smalle onderhoudsstrook tijdens de overgangperiode.

De kennisregel

Uit de hiervoor samengebrachte informatie volgt dat het antwoord op de vraag “*Welk effect hebben nieuw bos en bomen op de kosten voor beheer en onderhoud door de waterschappen?*” moet zijn:

- Na enkele jaren zijn de kosten voor beheer en onderhoud lager voor door bos beschaduwde beektrajecten, “zonder” effect of de weerstand van de waterloop.

Dat leidt tot de volgende kennisregel:

- | | |
|--|------------------|
| ■ Met behulp van bos beschaduwde beektrajecten | Kostenarm |
| ■ Andere trajecten | Reguliere kosten |

3.3 Overzicht van de kennisregels

In tabel 3-6 zijn de uit de literatuur gedestilleerde kennisregels overzichtelijk samengevat. Ze vormen de basis voor de digitale kanskaart, die [hier](#) te vinden is.

Tabel 3-6 Samenvatting van de kennisregels

Onderzoeksvraag	Kennisregel			
1. Abiotiek	Natuurbeheertype	GVG (cm -mv)	GLG (cm -mv)	Grondwater invloed
	Moeras (N05.01)	20 - -20	40-80	-
	Nat schraalland (N10.01)	20 - -5	20-60	Ja, basenarm
	Vochtig hooiland (N10.02)	5 -50	> 80	Ja, basenrijk
	Rivier- en Beekbegeleidend bos (N14.01)	20 - -20	40-80	Ja, aangerijkt
	Hoog- en Laagveenbos (N14.02)	20 - -5	>-50	-
	Haagbeuken- en Essenbos (N14.03)	10 - >10	>80	Aangerijkt
	Dennen-, Eiken- en Beukenbossen (N15.02)	Grondwateronafhankelijk		
	Droog bos met productie (N16.03)	Zie N15.02		
	Vochtig bos met productie (N16.04)	Zie N14.01 en N14.03		
2. Kaderrichtlijn Water	- Actueel percentage beschaduwning < 40 procent >40 - <80 procent >80 procent			Zeer kansrijk Kansrijk Kansarm
3. Grondwaterkwaliteit	- Landbouwgrond in intrekgebied - Landbouwgrond in het beekdal - Natuurgronden			Zeer Kansrijk Kansrijk Kansarm
4. Watervoorziening	- Naaldbos of maïsteelt in intrekgebied - Natuurgrond of grasland in intrekgebied - Buiten de intrekgebieden			Zeer Kansrijk Neutraal Kansarm
5. Wateroverlast	- Verruwing "kaal" gebied op de flanken of natuurlijke laagte - Verruwing natuurgrond op de flanken of natuurlijke laagte - Andere gebieden			Zeer Kansrijk Kansrijk Kansarm
6. Waterveiligheid	- Buiten de in vigerend beleid vastgelegde veiligheidszones rond keringen - Binnen de in vigerend beleid vastgelegde veiligheidszones rond keringen			Kansrijk Kansarm
7. Biodiversiteit	- Binnen standplaatseisen in bestaand netwerk - Buiten standplaatseisen in bestaand netwerk - Buiten standplaatseisen en geïsoleerd			Zeer Kansrijk Kansrijk Kansarm
8. Koolstof	- Vochtig bos of vochtige graslanden - Andere bostypen			Zeer kansrijk Kansrijk

Onderzoeksvraag	Kennisregel
9. Natuurnetwerk Nederland	■ Areaal aangeduid als N00.01 of N00.02 dan wel grondwater afhankelijke gebieden Kansrijk ■ Andere gebieden Kansarm
10. Slechte gebieden	■ Een integrale oplossing, gebaseerd op bewuste en geïnformeerde keuzes is altijd nodig en kennis van het ecohydrologisch systeem is daarvoor een objectief startpunt.
11. Beheerkosten	■ Met behulp van bos beschaduwde beektrajecten Kostenarm ■ Andere trajecten Reguliere kosten

4 Kennislacunes en onderzoeksvragen

Hoewel het literatuuronderzoek niet gehinderd is door kennislacunes die het definiëren van een kennisregel voor elk van de deelvragen -en dus de bruikbaarheid van deze achtergrondrapportage- in de weg staan, is niettemin sprake van enkele opvallende kennislacunes. Die zouden aanleiding kunnen zijn voor vervolgonderzoek, om de kennisontwikkeling rond de bijdrage die bossen leveren aan tal van ecosysteemdiensten een stap verder te helpen.

Meest in het oog springend is het (vrijwel) geheel ontbreken van empirische, kwantitatieve gegevens als het gaat om effecten van bossen op de waterkwaliteit (paragraaf 3.2.4). Hoewel bekend is dat bossen vanwege hun omvang en complexe structuur tal van stoffen invangen, lijkt nauwelijks bekend te zijn in hoeverre die invang van stoffen ook daadwerkelijk te meten is in het onder bossen infiltrerende grondwater. Het begrijpen van de relatie tussen de kwaliteit van het interceptiewater, de bodemkwaliteit en de grondwaterkwaliteit is van belang, omdat het gaat over de waterkwaliteit grondwaterafhankelijke natuurwaarden lager op de gradiënt bereiken. Dat die relatie bestaat, weten we uit onderzoek naar de effecten van de huidige bemestingspraktijk. Voor bossen is het van belang dat hierbij ook aandacht is voor de effecten van de bosbodem, maar ook de processen daarin op de waterkwaliteit. Tussen interceptiewater en grondwater zit als het ware een eigen systeem (de bosbodem) dat via bodemgeochemie maar ook biota invloed heeft op de waterkwaliteit. Tegelijkertijd is die informatie ook nodig om effecten van bijvoorbeeld “goed-strooiselsoorten” beter te begrijpen. Voor korte vegetaties in natuurgebieden is hier meer over bekend. Een mooi startpunt voor bossen, zeker wanneer daarin minimaal de in de Index Natuur en Landschap onderscheiden bossen (Tabel 3-1) worden betrokken.

Verder valt op dat veel van het onderzoek aan het waterverbruik van bossen (maar ook andere natuurtypen) relatief oud is en in geval van bossen vooral afkomstig is van experimenten in de duinstreek (paragraaf 3.2.4). De duinen hebben een heel eigen abiotiek (niet voor niets is het een eigen fysisch geografische regio), waardoor niet altijd duidelijk is in hoeverre de gevonden getallen ook zeggingskracht hebben in andere fysisch geografische regio's. Onderzoek naar het waterverbruik van bossen buiten de duinstreek kan hierin inzicht verschaffen. Het is goed om daarbij rekening te houden met de Index Natuur en Landschap onderscheiden bossen (Tabel 3-1) en het landschapsecologisch systeem waarbinnen de bossen “van nature” voorkomen.

Uit het uitgevoerde literatuuronderzoek is te weinig informatie beschikbaar om de effectiviteit van bos in bijvoorbeeld als het gaat om het bevorderen van de infiltratie (paragraaf 3.2.4) te kwantificeren per bodemtype. Verschillende bodemtypes (eg. zand, klei, veen, löss) verschillen in onder meer porositeit en daardoor in hun vermogen om vocht vast te houden of na te leveren. Dat is het directe gevolg van het poriënvolume dat afneemt in de volgorde zand>veen>leem>klei, waardoor zandgronden veel beter waterdoorlatend zijn en veel minder in staat om water vast te houden of na te leveren in vergelijking met kleigronden. In dit kader konden op dat vlak geen gegevens gevonden worden. Onderscheid per bodemtype kan onderdeel zijn van onderzoek dat ingaat op voorgaande lacunes.

Het was de wens dat dit literatuuronderzoek ook uitspraken kon doen over welk type bos zoals bedoeld in de Index Natuur en Landschap voor elk van de deelvragen het meeste effect sorteerte. Dat is niet gelukt, omdat daarvoor de gegevens ontbreken. Alleen voor vastlegging van koolstof bleek dit mogelijk (paragraaf 3.2.8). Door in eventueel vervolgonderzoek de verschillende bostypen afzonderlijk mee te nemen, komt de wens in de toekomst binnen bereik.

Referenties

- Aerts, R., J. T. A. Verhoeven, & D. F. Whigham. 1999. Plant-mediated controls on nutrient cycling in temperate fens and bogs. *Ecology*. 80(7):2170–2181 Online beschikbaar: [http://doi.wiley.com/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[2170:PMCONC\]2.0.CO;2](http://doi.wiley.com/10.1890/0012-9658(1999)080[2170:PMCONC]2.0.CO;2); Laatste bezocht April 16, 2020.
- Alaoui, A., U. Caduff, H. H. Gerke, & R. Weingartner. 2011. A Preferential Flow Effects on Infiltration and Runoff in Grassland and Forest Soils. *Vadose Zone Journal*. 10(1):367 Online beschikbaar: <https://www.soils.org/publications/vzj/abstracts/10/1/367>; Laatste bezocht July 17, 2019.
- Allen, A., & D. Chapman. 2001. Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal*. 9(4):390–400 Online beschikbaar: <http://link.springer.com/10.1007/s100400100148>; Laatste bezocht June 15, 2021.
- Alterra, R. I. voor de G. R. 2001. *Handboek robuuste verbindingen: [ecologische randvoorwaarden]*. Online beschikbaar: <http://edepot.wur.nl/43373>; Laatste bezocht June 21, 2021.
- Arnolds, E. 2020. Zien we door de bomen het bos nog wel.
- Bal, D. 2001. *Handboek natuuroeltypen*. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Barkman, J., & P. Stoutjesdijk. 1987. *Microklimaat, vegetatie en fauna*. Pudoc, Wageningen.
- Beentjes, R., & J. Koopman. 2000. *Kloppende adres. Een impuls aan de realisatie van Ecologische Verbindingszones in Nederland*. Projectgroep Ecologische Verbindingszones.
- van Bezouw, R., I. Wynhoff, F. van Langevelde, & M. Berg. 2016. Sprinstartgemeenschappen (Hexapoda: Collembola) als indicator voor blauwgraslandbodems rond de moerputten. *Entomologische berichten*. 76(2):69–79.
- Bharati, L., K.-H. Lee, T. M. Isenhardt, & R. C. Schultz. 2002. Soil-water infiltration under crops, pasture and established riparian buffer in Midwestern USA. *Agroforestry Systems*. 56(3):249–257 Online beschikbaar: <http://link.springer.com/10.1023/A:1021344807285>; Laatste bezocht April 7, 2021.
- BIJ12. 2021. De Index Natuur en Landschap. Online beschikbaar: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/de-index-natuur-en-landschap/>; Laatste bezocht April 21, 2021.
- Bobbink, R., M. de Graaf, G. Verheggen, & J. Roelofs. 2007. *Grondwaterkwaliteitsaspecten bij vernatting van Natte natuurepaleis in Noord-Brabant*. B-WARE, Nijmegen.
- Bokhorst, J., & L. Janmaat. 2013. Bio-landbouw toegerust voor fosfaatkringlopen. *Ekoland*. juli/augustus:22–23.
- Boosten, M., J. van den Briel, B. Lerink, V. Lokin, & M.-J. Schelhaas. 2020. Factsheets Klimaatmaatregelen met Bomen, Bos en Natuur. Online beschikbaar: <https://www.vbne.nl/klimaatlimbosennatuurbeheer/uploads/factsheets-final-16jan.691bb2.pdf>.
- Brechtel, H. 1992. Impact of acid deposition caused by air pollution in Central Europe. in *Responses of forest ecosystems to environmental changes*, Elsevier, New York.
- Brunet, J. 2004. Colonization of oak plantations by forest plants: effects of regional abundance and habitat fragmentation. P. 129–141 in *Forest biodiversity: lessons from history for conservation*, Honnay, O., K. Verheyen, B. Bossuyt, and M. Hermy (eds.). CABI, Wallingford. Online beschikbaar: <http://www.cabi.org/cabbooks/ebook/20043094053>; Laatste bezocht June 21, 2021.
- Brunke, M., & T. Gonser. 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology*. 37(1):1–33 Online beschikbaar: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2427.1997.00143.x>; Laatste bezocht June 15, 2021.
- van der Burg, R., R. Bijlsma, & R. de Waal. 2016. *Vochtige bossen, tussen verdrogen en nat gaan*. OBN/VBNE, Driebergen.
- van der Burg, R., E. Brouwer, R. Bijlsma, A. van den Burg, G. van Duinen, P. Hommel, A. Jansen, E. Lucassen, & R. de Waal. 2014. *Preadvies voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen op de pleistocene zandgronden*. KNNV-uitgeverij. Vereniging voor Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.
- Candel, Jasper. H. J., J. Wallinga, M. G. Kleinhans, & A. Makaske. 2020. Ahead of the curve: channel pattern formation of low-energy rivers.
- Carpenter, S. R., & S. A. Levin. 2013. *The Princeton guide to ecology*. Princeton University Press, Princeton, N.J. Online beschikbaar: <http://0-credoreference.com.emu.londonmet.ac.uk/book/prge>; Laatste bezocht June 21, 2021.

- Cassman, K. G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 96(11):5952–5959 Online beschikbaar: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.96.11.5952>; Laatste bezocht April 7, 2021.
- Castelle, A. J., A. W. Johnson, & C. Conolly. 1994. Wetland and Stream Buffer Size Requirements-A Review. *Journal of Environmental Quality*. 23(5):878–882 Online beschikbaar: <http://doi.wiley.com/10.2134/jeq1994.00472425002300050004x>; Laatste bezocht August 4, 2021.
- Compendium voor de Leefomgeving. 2018. Belasting van het oppervlaktewater door landbouw en natuur, 1990-2018. Online beschikbaar: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0103-belasting-oppervlaktewater-en-emissies-naar-water-door-land-en-tuinbouw>.
- Compendium voor de Leefomgeving. 2021. Grondwaterkwaliteit onder bossen, 1990 en 2000. Online beschikbaar: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl027603-grondwaterkwaliteit-onder-bossen>.
- De Becker, P. 2004. *Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno/Padion en Alnion incanae gemeenschappen*. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- De Schrijver, A., G. Geudens, L. Augusto, J. Staelens, J. Mertens, K. Wuyts, L. Gielis, & K. Verheyen. 2007. The effect of forest type on throughfall deposition and seepage flux: a review. *Oecologia*. 153:663–674.
- De Schrijver, A., J. Van Uytvanck, A. Thomaes, S. Schelfhout, & J. Mertens. 2011. Ecologische bosontwikkeling op voormalige landbouw gronden in de praktijk: keuzes voor beheerders.
- Desie, E., L. van den Berg, B. Nyssen, M. Weijters, G.-J. van Duinen, J. den Ouden, K. Vancampenhout, & B. Muys. 2020. Rijkstrooisel: kansen voor herstel van de nutriëntenkringloop in bossen. *De Levende Natuur*. 121(4):134–139.
- van Deursen, W., A. van Winden, & W. Braakhekke. 2013. *Mogelijkheden voor Bergen? Bergen van mogelijkheden!* Carthago Consultancy, Bureau Strooming, Nijmegen.
- van Dijk, J., W. A. M. Didden, F. Kuenen, P. M. van Bodegom, H. A. Verhoef, & R. Aerts. 2009. Can differences in soil community composition after peat meadow restoration lead to different decomposition and mineralization rates? *Soil Biology and Biochemistry*. 41(8):1717–1725 Online beschikbaar: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071709002090>; Laatste bezocht May 7, 2020.
- Dolman, A., & E. Moors. 1994. *Hydrologie en waterhuishouding van bosgebieden in Nederland. Fase 1: toetsing instrumentarium*. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Dolman, A., & W. Oosterbaan. 1986. Grondwatervoeding, interceptie en transpiratie van de castricumse boslysimeters. *H2O*. 19(9):174–175.
- Dolman, H., E. Moors, J. Elbers, W. Snijders, & P. Hamaker. 2000. Brochure “Het waterverbruik van bossen in Nederland.”
- Driver, A. 2016. Multiple benefits of river and wetland restoration – “Killer Facts” measured from projects implemented on the ground. Online beschikbaar: https://ecosystemsknowledge.net/sites/default/files/wp-content/uploads/2017/BESS/KILLER-FACTS-Multiple_benefits_of_river_and_wetland_restoration-Jun16.pdf.
- Dynesius, M., & C. Nilsson. 1994. Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science*. 266(5186):753–762 Online beschikbaar: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.266.5186.753>; Laatste bezocht June 15, 2021.
- Elbers, J., A. Dolman, & E. Moors. 1996. *Hydrologie en waterhuishouding van bosgebieden in Nederland Fase 2: Meetopzet en eerste resultaten*. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Ertsen, A., P. de Louw, & J. Buma. 2005. *OGOR natuur in Brabant - Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen*. Provincie Noord-Brabant, 's-Hertogenbosch.
- Feddes, R. 1987. Crop factors in relation to Makkink's reference crop evapotranspiration. in *Evaporation and weather*, Proceedings and information no. 39. CHO-TNO. Den Haag.
- Forbes, H., K. Ball, & F. McLay. 2015. *Natural flood management handbook*. Scottish environmental protection agency.
- Götmark, F., & M. Thorell. 2003. Size of nature reserves: densities of large trees and dead wood indicate high value of small conservation forests in southern Sweden. *Biodiversity and Conservation*. 12(6):1271–1285 Online beschikbaar: <http://link.springer.com/10.1023/A:1023000224642>; Laatste bezocht November 12, 2021.

- Grashof-Bokdam, C. 1997. Colonization of forest plants: role of fragmentation. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Gregory, A. S., C. P. Webster, C. W. Watts, W. R. Whalley, C. J. A. Macleod, A. Joynes, A. Papadopoulos, et al. 2010. Soil Management and Grass Species Effects on the Hydraulic Properties of Shrinking Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 74(3):753 Online beschikbaar: <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/74/3/753>; Laatste bezocht July 17, 2019.
- Greig, S. 2015. *A long-term carbon account for forestry at Eskdalemuir*.
- Groenendijk, P., E. van Boekel, L. Renaud, L. Greijdanus, R. Michels, & T. de Koeijer. 2016. *Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren; Het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden*. Wageningen Environmental Research, Wageningen.
- Gundersen, P., & L. Rasmussen. 1990. Nitrification in Forest Soils: Effects from Nitrogen Deposition on Soil Acidification and Aluminum Release. P. 1–45 in *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Ware, G.W. (ed.). Springer New York, New York, NY. Online beschikbaar: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4612-3366-4_1; Laatste bezocht June 15, 2021.
- Gundersen, P., I. K. Schmidt, & K. Raulund-Rasmussen. 2006. Leaching of nitrate from temperate forests – effects of air pollution and forest management. *Environmental Reviews*. 14(1):1–57 Online beschikbaar: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/a05-015>; Laatste bezocht January 4, 2019.
- Harding, R., C. Neal, & P. Whitehead. 1992. Hydrological effects of plantation forestry in north-western Europe. in *Responses of forest ecosystems to environmental changes*, Elsevier, New York.
- Henning, H., & T. Hilgert. 2007. Dranabflüsse - Der Schlüssel zur Wasserbilanzierung im nordostdeutschen Tiefland. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. 51:248–257.
- Hoffman, M. 2009. Planten en luchtkwaliteit. *Dendroflora*. 46:25–49.
- Hommel, P. W. F. M. 2007. *Terug naar het lindewoud: strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer*. KNNV Uitgeverij, Zeist.
- Humphrey, J. W. 2005. Benefits to biodiversity from developing old-growth conditions in British upland spruce plantations: a review and recommendations. *Forestry*. 78(1):33–53 Online beschikbaar: <https://academic.oup.com/forestry/article-lookup/doi/10.1093/forestry/cpi004>; Laatste bezocht November 12, 2021.
- Imbach, A., H. Fassbender, R. Borel, J. Beer, & A. Bonnemann. 1989. Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica. Water balances, nutrient inputs and leaching. *Agroforestry systems*. 8(3):267–287.
- IUCN. 2017. Peatlands and climate change. Online beschikbaar: https://www.iucn.org/sites/dev/files/peatlands_and_climate_change_issues_brief_final.pdf.
- Jansen, A., & A. Olsthoorn. 2003. Relatie bos en waterwinning. *Nederlands Bosbouwkundig Tijdschrift*. 75(2):7–10.
- Junk, W., P. Bayley, & R. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*. 106:110–127.
- Katayama, N., T. Amano, S. Naoe, T. Yamakita, I. Komatsu, S. Takagawa, N. Sato, M. Ueta, & T. Miyashita. 2014. Landscape Heterogeneity–Biodiversity Relationship: Effect of Range Size Bond-Lamberty, B. (ed.). *PLoS ONE*. 9(3):e93359 Online beschikbaar: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0093359>; Laatste bezocht November 12, 2021.
- Kellomäki, S., J. Gulichsen, H. Paulapuro, Suomen Paperi-Insinöörien Yhdistys, & Technical Association of the Pulp and Paper Industry, eds. 1998. *Forest resources and sustainable management*. Fapet Oy, Helsinki. 425 p.
- Kemmers, R., J. Bloem, & J. Faber. 2010. *Bodembiota en stikstofstromen in schraalgraslanden - Effecten op vegetatie*. Alterra, Wageningen.
- Kemmers, R. H., S. P. J. Van Delft, M. Madaras, M. Hoosbeek, J. Vos, & M. van Breemen. 2001. *Ecopedological explorations of three calcareous rich fens in the Slovak Republic*. Alterra, Wageningen.
- Knapková, J., H. Pánková, & Z. Münzbergová. 2016. Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Abiotic Conditions in the Establishment of a Dry Grassland Community Aroca, R. (ed.). *PLoS*

- ONE. 11(7):e0158925 Online beschikbaar:
<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0158925>; Laatste bezocht April 16, 2020.
- KNMI. 2021. Dagwaarde neerslagstations. Online beschikbaar: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen#V>.
- KNMI. 2011. Klimaatatlas - Langjarige gemiddelden 1981-2010. Online beschikbaar:
<http://www.klimaatatlas.nl/>.
- Koziol, L., & J. D. Bever. 2017. The missing link in grassland restoration: arbuscular mycorrhizal fungi inoculation increases plant diversity and accelerates succession Nuñez, M. (ed.). *J Appl Ecol.* 54(5):1301–1309 Online beschikbaar: <http://doi.wiley.com/10.1111/1365-2664.12843>; Laatste bezocht April 16, 2020.
- Kruidering, A., G. Veenbaas, R. Kleijberg, G. Koot, E. van Jaarsveld, Arcadis regio noordoost, & Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2005. *Leidraad faunavoorzieningen bij wegen*. Rijkswaterstaat, Delft.
- Kučera, A., P. Samec, A. Bajer, K. Ronald Skene, T. Vichta, V. Vranová, R. Swaroop Meena, & R. Datta. 2021. Forest Soil Water in Landscape Context. in *Soil Moisture Importance*, Swaroop Meena, R., and R. Datta (eds.). IntechOpen. Online beschikbaar: <https://www.intechopen.com/books/soil-moisture-importance/forest-soil-water-in-landscape-context>; Laatste bezocht April 6, 2021.
- Lambers, H., F. S. Chapin, & T. L. Pons. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer, New York. 540 p.
- Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. 4th ed. Springer, Berlin ; New York. 513 p.
- Lee, K., T. Isenhardt, & R. Schultz. 2003. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. *Journal of Soil and Water Conservation*. 58(1):1–8.
- Lesschen, J. P., H. Heesmans, J. Mol-Dijkstra, A. van Doorn, E. Verkaik, I. van den Wyngaert, & P. Kuikman. 2012. *Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur*. Alterra, Wageningen.
- Lin, X., S. Green, M. M. Tfaily, O. Prakash, K. T. Konstantinidis, J. E. Corbett, J. P. Chanton, W. T. Cooper, & J. E. Kostka. 2012. Microbial Community Structure and Activity Linked to Contrasting Biogeochemical Gradients in Bog and Fen Environments of the Glacial Lake Agassiz Peatland. *Appl. Environ. Microbiol.* 78(19):7023–7031 Online beschikbaar:
<http://aem.asm.org/lookup/doi/10.1128/AEM.01750-12>; Laatste bezocht April 16, 2020.
- van Loon, A., S. Clevers, & M. Jalink. 2019. *De waarde van natuur voor watervoorziening*. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- de Mars, H., B. Possen, E. Weeda, J. Schaminée, & M. Wallis de Vries. 2017. *Herstel van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen, het Kalkmoeras in het bijzonder*. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.
- Massop, H., P. van Bakel, T. Kroon, G. Kroes, W. Tiktak, & W. Werkman. 2005. *Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping*. Alterra, Wageningen.
- Moors, E., A. Dolman, W. Bouten, & A. Veen. 1996. De verdamping van bossen. *H2O*. 29(16):462–466.
- Moors, E. J. 2012. Water use of forests in the Netherlands. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Nisbet, T., S. Marrington, H. Thomas, S. Broadmeadow, & G. Valatin. 2011. *Defra FCERM Multi-objective flood management demonstration project - project RMP5455: Slowing the flow at pickering*.
- Nisbet, T., P. Roe, S. Marrington, H. Thomas, S. Broadmeadow, & G. Valatin. 2015. *Defra FCERM Multi-objective flood management demonstration project - project RMP5455: Slowing the flow at pickering*.
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of ecology*. 3d ed. Saunders, Philadelphia. 574 p.
- van Oldenborgh, J. 1936. Plannen tot het stichten van een lysimeterwaarnemingsstation in het provinciaal duinterrein Bakkum onder de gemeente Castricum. *Water*. 20(11):93–94.
- Ouden, J. den. 2011. *Bosecologie en bosbeheer*. Acco, Leuven.
- Pflug, S., B. R. Voortman, J. H. C. Cornelissen, & J. M. Witte. 2021. The effect of plant size and branch traits on rainfall interception of 10 temperate tree species. *Ecohydrology*. Online beschikbaar:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eco.2349>; Laatste bezocht November 12, 2021.
- Provincie Noord-Brabant. 2020a. Brabantse bossenstrategie - meer en beter bos, goed voor mens, dier en plant.
- Provincie Noord-Brabant. 2005. *Groene schakels. Ecologische verbindingzones. Voorbeeldenboek*. Provincie Noord-Brabant, 's-Hertogenbosch.
- Provincie Noord-Brabant. 2020b. *Natuurbeheerplan Noord-Brabant - Algemene tekst en kaarten*. Provincie Noord-Brabant, 's-Hertogenbosch.

- Quinn, P., M. Wilkinson, J. Jonczyk, A. Nicholson, G. Owen, S. Burke, N. Barber, P. Welton, & P. Kerr. 2011. *Belford: A case study of catchment scale natural flood management*.
- Rahman, M., & R. Ennos. 2015. What we know and don't know about the surface runoff reduction potential of urban trees.
- Ramaker, M. 2020. *The effect of thermal energy recovery on the ecology of small, slow flowing freshwater ecosystems - a modelling approach*. Open Universiteit en Waterschap Aa en Maas, 's-Hertogenbosch.
- Rebisz, S. 2019. *Exploring temperate food forestry as a sustainable 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*. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Online beschikbaar: <https://edepot.wur.nl/511035>.
- Reddy, K., & W. Patrick. 1975. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential. Organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. *Soil biology and Biochemistry*. 7:87–94.
- Runhaar, H., A. van Doorn, J. Vermulst, B. Possen, & M. van Kempen. 2017. *Toestandrapportage Verdroging Noord-Brabant 2017*. KWR, Royal HaskoningDHV, Nieuwegein.
- Runhaar, H., & S. Hennekens. 2014. *'Hydrologische Randvoorwaarden Natuur' Versie 3*. STOWA, Amersfoort.
- Runhaar, H., M. Jalink, H. Hunneman, J. Witte, & S. Hennekens. 2009. *Ecologische vereisten Habitattypen*. KWR, Nieuwegein.
- Schipper, P. M. N., P. Groenendijk, N. van Eekeren, M. Zanen, J. C. Rozemeijer, G. Jansen, & B. Swart. 2015. *Goede grond voor een duurzaam watersysteem: verdere verkenningen in de relatie tussen agrarisch bodembeheer, bodemkwaliteit en waterhuishouding*.
- Schmidt, P., & G. van Duinhoven. 2016. Goed bosbeheer kan bijdragen aan langer vasthouden van C)2. *Vakblad Natuur Bos Landschap*. :10–14.
- Schoumans, O., P. Groenendijk, L. Renaud, & F. van der Bolt. 2008. *Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater Vergelijking tussen landbouw- en natuurgebieden*. Alterra, Wageningen.
- Siepmann, M. 2018. De natuurlijke stikstofkringloop - Deel 1. *Permacultuur magazine*. 10:9–11.
- Spieksma, J., A. Dolman, & J. Schouwenaars. 1995. *De parameterisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen*. Vakgroep fysische geografie RUG, DLO-Staringcentrum, Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging, Lelystad.
- Springgay, E. 2019. Forests as nature-based solutions for water. *Unasylva*. 70(1):3–13.
- STOWA. 2015. *Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie*. STOWA, Amersfoort.
- STOWA. 2017. *Kennisoverzicht kleinschalige maatregelen in Brabantse beken*. 2017-16, STOWA, Amersfoort.
- STOWA. 2018. *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn water 2021-2027*. STOWA, Utrecht.
- Timmermans, B., W. Sukkel, & J. Bokhorst. 2012. *Telen bij lage fosfaatsniveaus in de biologische landbouw; achtergronden en literatuurstudie*. Louis Bolk Instituut, Bunnik.
- Tolkamp, G., & A. Olsthoorn. 2006. *De invloed van structuurdunning en noodverjonging op de effectieve depositie in bossen, een literatuurstudie*. Alterra, Wageningen.
- Townsend, C. R., J. L. Harper, & M. Begon. 2000. *Essentials of ecology*. Blackwell Science, Malden, Mass. 552 p.
- Udawatta, R. P., J. J. Krstansky, G. S. Henderson, & H. E. Garrett. 2002. Agroforestry Practices, Runoff, and Nutrient Loss: A Paired Watershed Comparison. *J. Environ. Qual.* 31(4):1214–1225 Online beschikbaar: <http://doi.wiley.com/10.2134/jeq2002.1214>; Laatste bezocht April 7, 2021.
- Unie van Waterschappen. 2006. *Landelijke bedrijfsvergelijking waterbeheer 2005 - Water slimmer beheren door van elkaar te leren*. Unie van Waterschappen.
- Ursem, M., M. van der Kamp, W. Hendriks, & S. Schep. 2021. Klimaatverandering en de uit- en afspoeling van nutriënten. *H2O-Online*. 21 april.
- Van Delft, S. P. J., R. H. Kemmers, & A. G. Jongmans. 2005. *Pyrietvorming in relatie tot interne eutrofiëring en verzuring*. Alterra, Wageningen.
- van Velzen, E., P. Jesse, P. Cornelissen, & H. Coops. 2002. *Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden. Deel I handboek versie 1.0*.

- Veraart, J., J. Kruit, & P. Kraaijenbrink. 2020. *Deltafact Bomen, Bos en Waterbeheer*. STOWA, Delft. Online beschikbaar: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/innovatieve-dijkconcepten/bomen-bos-en-waterbeheer>.
- Verdonschot, F., B. Brugmans, M. Scheepens, D. Coenen, & P. Verdonschot. 2016a. Invloed van beekbegeleidende bomen op de ecologische kwaliteit van Noord-Brabantse beken. *H2O online*. (28 juli 2016):1–10 Online beschikbaar: <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/de-relatie-tussen-beschaduwning-en-de-groei-van-waterplanten-in-twee-beken-in-noord-brabant>.
- Verdonschot, R., B. Brugmans, I. Barten, & M. Scheepens. 2017. De relatie tussen beschaduwning en de groei van waterplanten in twee beken in Noord-Brabant. *H2O online*. 28 augustus 2017:1–12.
- Verdonschot, R., H. Runhaar, T. Buijse, R. Bijkerk, & P. Verdonschot. 2016b. *Doorstroommoerassen en moerasbeken: typebeschrijvingen en ontwikkeling maatlatten voor de biologische kwaliteitselementen*. Online beschikbaar: <https://doi.org/10.18174/407301>; Laatst bezocht June 15, 2021.
- Verdonschot, R., & P. Verdonschot. 2018. *Maatlatten voor doorstroommoerassen en moerasbeken*. Online beschikbaar: <https://doi.org/10.18174/458510>; Laatst bezocht June 15, 2021.
- Verdonschot, R., & P. Verdonschot. 2017. *Relatie KRW-doelen en macrofauna in beken in Noord-Brabant*. Online beschikbaar: <http://dx.doi.org/10.18174/418564>; Laatst bezocht November 21, 2018.
- Ward, J., K. Tockner, D. Arscott, & C. Claret. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology*. 47:517–539.
- Ward, J., K. Tockner, U. Uehlinger, & F. Malard. 2000. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated rivers: research & Management*. 17(311–323).
- Wenger, S. 1999. A review of the scientific literature on riparian buffer width, extent and vegetation. *Office of Public Service & Outreach, Institute of Ecology, University of Georgia*. :1–59.
- Wienk, L. D. 2000. *Peilbeheer en nutriënten: literatuurstudie naar de effecten van peildynamiek op de nutriëntenhuishouding van watersystemen*. Online beschikbaar: <http://edepot.wur.nl/294909>; Laatst bezocht December 21, 2020.
- Williams, D. M., H. Blanco-Canqui, C. A. Francis, & T. D. Galusha. 2017. Organic Farming and Soil Physical Properties: An Assessment after 40 Years. *Agronomy Journal*. 109(2):600–609 Online beschikbaar: <http://doi.wiley.com/10.2134/agronj2016.06.0372>; Laatst bezocht April 6, 2021.
- Wilson, L., J. Wilson, J. Holden, I. Johnstone, A. Armstrong, & M. Morris. 2011. The impact of drain blocking on an upland blanket bog during storm and drought events, and the importance of sampling-scale. *Journal of Hydrology*. 404(3–4):198–208 Online beschikbaar: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169411002915>; Laatst bezocht June 15, 2021.
- Wösten, H., & P. Groenendijk. 2021. *Deltafact Bodemorganisch stof*. STOWA, Delft. Online beschikbaar: <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/belang-van-bodemorganische-stof-voor-het-waterbeheer#2599>.
- Yunusa, I. A. . M., P. M. Mele, M. A. Rab, C. R. Scheffe, & C. R. Beverly. 2002. Priming of soil structural and hydrological properties by native woody species, annual crops, and a permanent pasture. *Soil Res*. 40(2):207 Online beschikbaar: <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR01038>; Laatst bezocht July 17, 2019.