

# Deltafact - Bouwen met Natuur bij herstel van beken; effectiviteit van maatregelen

## 1. Inleiding

Waterbeheerders werken aan verbetering van het hydrologisch en ecologisch functioneren van watersystemen. In beken wordt hiervoor vooral geïnvesteerd in grootschalige inrichtingsmaatregelen, zoals hermeandering, herprofilering en het creëren van waterbergingsgebieden. Dit zijn kostbare en ingrijpende maatregelen, die niet altijd tot het gewenste ecologische effect leiden (Roni et al. 2008; Didderen et al., 2009; Palmer, 2010; Lorenz et al., 2012). Waterbeheerders hebben inmiddels ook ervaring met kleinschalige ingrepen, waarbij de natuur het werk doet, ook wel 'Bouwen met Natuur' (hierna BmN) genoemd.

In deze Deltafact beschrijven we de belangrijkste waargenomen hydrologische en ecologische effecten van vier BmN maatregelen op basis van gedocumenteerde kennis uit de waterschapspraktijk: 1) zandsuppletie, 2) beschaduwing, 3) het inbrengen van beekhout en 4) aangepast maaibeheer. De gedocumenteerde kennis is verzameld aan de hand van interviews met tien waterbeheerders en aangevuld met resultaten uit onderzoek, zoals Beekdalbreed Hermeanderen, Lumbricus en het STOWA/OBN-project 'Kleinschalig beheer en onderhoud'. In het hoofdstuk kennisleemten geven we aan welke vragen open blijven staan.

## 2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

Deze Deltafact is gerelateerd aan de volgende onderwerpen:

Beekherstel, kleinschalige maatregelen, vegetatiebeheer, wateroverlast, droogte, waterberging, afvoerregime, risicogestuurd beheer, waterkwaliteit, ecologische kwaliteit.

Er is verband met de volgende Deltafacts:

Deltafact Peilen en Vegetatie in stromende wateren – Lumbricus, Monitoringstrategieën voor het meten van de effectiviteit van beekherstelprojecten – Lumbricus, [Blauwe diensten](#), [Effecten klimaatverandering op landbouw](#), [Effecten klimaatverandering op terrestrische natuur](#), [Effectiviteit waterinlaat](#), [Bodem als buffer](#), [Remote Sensing voor waterkwantiteits-kwaliteitsbeheer](#), [Droogte stuurt functies](#), [Dynamisch peilbeheer](#).

## 3. Werking en randvoorwaarden

Steeds meer projecten laten zien dat toepassen van Bouwen met Natuur succesvol is en bijdraagt aan maatschappelijke (waterbeheer)doelen wanneer het wordt toegepast onder de juiste condities. BmN draagt bij aan een hogere biodiversiteit en biomassa bij macrofauna en vegetatie. Dit komt onder meer doordat de maatregelen zorgen voor meer variatie in stroming, habitat, structuur, temperatuur en substraat en voor minder verstoring van leefgebieden. Daarnaast zijn BmN-maatregelen duurzaam en kunnen deze bijdragen aan het creëren van draagvlak bij de omgeving bij het nemen van maatregelen ('het ziet er leuk uit'). Bouwen met Natuur is het meest succesvol in (half) natuurlijke beken. Deze DeltaFact gaat per Bouwen-met-Natuurmaatregel dieper in op de ecologische en hydrologische effecten en beschrijft de overige relevante effecten/ aandachtspunten. Tabel 1 geeft een samenvatting van de potentiële positieve biologische, fysisch-chemische, hydrologische en morfologische effecten van BmN maatregelen in beken.

Veel beken in Nederland liggen in landbouwgebied en staan in hoge mate onder druk. In deze systemen is onder andere de nutriënten- en slijplast te hoog en is het kolonisatiepotentieel voor macrofauna en

vegetatie te laag. Daarnaast ontbreekt door normalisatie de vestigingsruimte voor water- en oeverplanten in de vorm van graduele nat/droog overgangen en ontbreekt door regulering een natuurlijk (fluctuerend) waterpeil en afvoerregime. Bouwen met Natuur is in dergelijke gebieden minder effectief. Milieufactoren zoals stroming, het landgebruik van de aanliggende percelen en de substraatsamenstelling zijn namelijk in hoge mate bepalend voor de mogelijkheden in een systeem. Kleinschalige BmN-maatregelen kunnen het systeem optimaliseren, maar niet in haar geheel herstellen.

Om Bouwen met Natuur effectief in te zetten moet daarom naar het hele systeem gekeken worden. Samenwerking in het gehele beekdal en met de verschillende partijen in dit beekdal (zoals gemeenten, provincie, agrariërs, TBO's) is daarvoor essentieel. BmN-maatregelen zijn daarom in combinatie met grootschalige herstelmaatregelen van het systeem effectief om een bijdrage te leveren aan ecologische vooruitgang van de beek. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.

Tabel 1. Samenvatting van de potentiële positieve biologische, fysisch-chemische, hydrologische en morfologische effecten van BmN maatregelen in beken, zoals uitgebreider beschreven in de tekst hieronder. Voor de relevante parameters is aangegeven of er een effect (○), sterk effect (●) of geen effect (-) is waargenomen. Bij de biologie betreft het de kenmerkende soorten voor stromende wateren. Het effect bij 'dwarsprofiel' duidt op afvlakking van het profiel, wat meer de natuurlijke situatie benaderd.

Maatregel	Biologie			Fysisch-chemisch			Hydrologie en morfologie		
	Waterplanten	Macrofauna	Vis	Temperatuur	Zuurstof	Nutriënten	Stroomsnelheidsvariatie	Substraatvariatie	Dwarsprofiel
Zandsuppletie	○	●	○	-	○	-	●	●	●
Beschaduwing met beekbegeleidende bomen	●	●	○	●	○	○	○	●	○
Beekhout	-	●	●	-	○	○	●	●	○
Aangepast maaibeheer	○*	○*	○*	-	-	-	- **/○	○	-

\*betreft algemene en tolerante soorten (geen toe- of afname kenmerkende soorten voor stromend water) \*\* hangt van maaivorm af

In de onderstaande paragrafen wordt de werking van de vier maatregelen beschreven. Van elke maatregel beschrijven we de definitie en het beoogde doel. Vervolgens geven we, voor zover van toepassing, een overzicht van varianten op de maatregel. Daarna wordt ingegaan op de belangrijkste hydrologische en ecologische effecten. Hierbij zijn de waterlichamen waar de genoemde ervaringen zijn opgedaan aangegeven tussen vierkante haken, bijvoorbeeld [Hooge Raam]. Ten slotte lichten we een aantal methoden toe om vooraf te voorspellen wat de hydrologische effecten en/of ecologische effecten zijn. In de laatste paragraaf worden de randvoorwaarden waaronder de maatregelen effectief zijn beschouwd.

### 3.1 Zandsuppletie

Definitie: Bij zandsuppletie wordt er zand in (actieve suppletie) of naast de beek (passieve suppletie) gebracht, wat vervolgens door de beek zelf verder verdeeld wordt (in en om de beek).

#### **Beoogde doelen:**

Het primaire doel is verhoging van de beekbodem en verkleining van het beekprofiel (Verdonschot et al., 2017), waardoor er sprake is van:

- Verhoging van de drainagebasis, waardoor neerslag minder snel wordt afgevoerd via het oppervlaktewater en meer naar het (diepere) grondwater kan zakken.
- Vergroting van de stroming en variatie in bodemsubstraten.
- Herstel van de verbinding tussen beek en beekdal.
- Afvlakken van piekafvoeren benedenstrooms, omdat de beek door verhoogde bodem sneller buiten haar oevers kan treden waardoor inundaties optreden.

#### **Waargenomen hydrologische/morfologische effecten:**

- Hogere oppervlaktewaterpeilen met als gevolg inundatie van overstromingsvlakte en omliggende bosgebieden (Verdonschot et al., 2017d; 2019) [Leuvenumse beek].
- Ontwikkeling van moeraszones langs de beek door verbeterde waterbeschikbaarheid en langere nat-droog gradiënten (Verdonschot et al., 2019) [Leuvenumse beek].

#### **Waargenomen ecologische effecten:**

- Direct na de zandsuppletie: afname van de diversiteit en abundantie van macrofauna door verstikking onder het zand (dos Reis Oliveira, 2019; Verdonschot et al., 2004; 2016c; 2017c) [Leuvenumse beek].
- Na stabilisatie van het zand: toename van de diversiteit en/of abundantie van indicatieve macrofauna in de beek (door meer stroming en/of substraatvariatie) en van de vegetatie in de natte oeverzones van het beekmoeras (ontwikkeling van nieuwe habitats). De macrofauna in het beekmoeras scoort goed op de maatlat van R5 en zeer goed op de maatlat van R20 (dos Reis Oliveira, 2019; Verdonschot et al., 2004; 2017d; 2019) [Leuvenumse beek, Springendalse beek].

#### **Overige relevante effecten/ aandachtspunten:**

- Het meeste zandtransport vindt plaats bij hoge afvoeren [Leuvenumse beek, Vecht].
- Het meegevoerde zand wordt voornamelijk afgezet op locaties waar de stroomsnelheid (en daarmee het transporterend vermogen) afneemt, bijvoorbeeld net vóór locaties met beekhout en op plekken waar de beek breder of dieper wordt (Verdonschot et al., 2016c; 2017c; 2017d; 2019) [Leuvenumse beek]
- Gebruik van gebiedseigen zand is wenselijk omdat dit wat betreft samenstelling aansluit bij de al aanwezige ondergrond. Bijvoorbeeld door zand te gebruiken dat vrijkomt bij het plaggen van nabijgelegen stuifzand of heidegebieden [Leuvenumse beek]

#### **Voorspellen/ modelleren van effecten:**

Er is nog weinig ervaring met het modelleren van zandtransport in beken. Met SOBEM en CCHE2D kunnen dynamische berekeningen inclusief het sedimenttransport worden verricht.

- **SOBEM:** Met Sobem kunnen 1D sedimenttransportberekeningen worden verricht. Voor de werkwijze en voorbeeldtoepassing in de Hooge Raam zie Reeze en Laseroms (2018).
- **CCHE2D:** Met CCHE2D kunnen 2D sedimenttransportberekeningen worden verricht. CCHE2D wordt normaliter toegepast in grotere rivieren met grote gridcellen. Voor een voorbeeldtoepassing in de Lunterse beek zie Laseroms (2013).

N.B.: Voor de kalibratie en validatie van morfologische modellen zijn meetgegevens van diverse perioden en gebeurtenissen nodig (Laseroms, 2013).



Zandsuppletie in de Hierdense beek, 4 jaar na de eerste suppletie  
(Foto: Ralf Verdonschot)



Zandsuppletie in de Snoeyinksbeek  
(Foto: Ecogroen)

### 3.2 Beschaduwing

Definitie: Beschaduwing is het verminderen van lichtinval in de beek door het aanplanten, laten staan of laten ontwikkelen van houtige begroeiing in de oeverzone direct langs de beek of bomen buiten de oeverzone van de beek.

#### Beoogde doelen:

Het primaire doel is het creëren van minder lichtinval (schaduw), waardoor:

- Voorkómen van opwarming van het beekwater.
- Beperking van de groei van ondergedoken waterplanten, oeverplanten en algen.

Waardoor minder verstoring van beekhabitats (door minder onderhoud).

Overige doelen zijn:

- Versterking van de beekhabitat door inval van blad en hout (en terrestrische insecten als voedsel voor vis).
- Beschutting voor macrofauna met een terrestrische levensfase.
- Minder afspoeling van nutriënten naar de beek.
- Stromingsvariatie door wortels en hout in de beek.
- Beschutting voor vissen en macrofauna, door wortels in de beek maar ook door overhangende takken.

#### Varianten:

De houtige begroeiing bevindt zich aan een of beide kanten van de beek. De begroeiing kan verschillende vormen aannemen (bomen, struiken, combinatie). Ook is er variatie in hoe dicht de bomen op elkaar staan en wat voor boomsoort(en) er worden gebruikt. Dit heeft invloed op de omvang en de dichtheid van het bladerdek. Voor effectieve beperking van de groei van waterplanten (zoveel dat er niet meer gemaaid hoeft te worden) is een beschaduwing nodig van minimaal 70% (Verdonschot et al., 2016b; Torenbeek et al., 2018).

#### Waargenomen hydrologische effecten:

- Minder opstuwing door minder waterplanten (Verdonschot et al., 2016b) [Brabantse beken].
- Bij lagere stroomsnelheden: stagnatie en opstuwing door ophoping van organisch materiaal (Willenswaard en Vugts, 2000) [Bijloop].

#### Waargenomen ecologisch effecten:

- Remming van de groei van waterplanten en oeverplanten (Verdonschot et al., 2016b; 2017b) [Brabantse beken, Keersop, Hooge Raam, Beekloop].

- Toename van kenmerkende macrofauna- en vissoorten van beekmilieus door meer variatie in stroming en substraat en/of koeler beekwater (Willenswaard en Vugts, 2000; Verdonschot et al., 2014; 2016b) [Brabantse beken, Bijloop, Beekloop].
- Stabieler zuurstofhuishouding (Willenswaard en Vugts, 2000) [Bijloop].
- Betere doorworteling en stabiliteit van de oever (Willenswaard en Vugts, 2000) [Bijloop].
- Lagere watertemperatuur in de zomer (tot ca 4-5 graden lager na enkele honderden meters beschaduwing, exacte getallen beekafhankelijk, bijv. door invloed grondwater).

#### **Overige relevante effecten/ aandachtspunten:**

- Door de verminderde groei van (water)planten is er minder onderhoud nodig. De eerste 5 jaar blijft intensief handmatig onderhoud noodzakelijk. Na 4 jaar wordt de vegetatiegroei door de beschaduwing geremd, na 5 à 6 jaar was de oeverbeplanting gesloten. Daarna neemt de intensiteit van het onderhoud af (Willenswaard en Vugts, 2000) [Bijloop]. Het onderhoud wordt vaak wel complexer. Er is minder machinaal mogelijk, zeker als beide zijden zijn beplant.
- Het is van belang om zo veel mogelijk oeverlengte van de beek te beschaduwen en, om maximale ecologische winst te behalen, bos of singels te realiseren in plaats van een enkele rij bomen. Europees onderzoek laat zien dat voor optimale effectiviteit gestreefd moet worden naar een lengte van 0,8 tot 1,3 kilometer (Verdonschot et al., 2014; 2016b).
- Het effect van de beschaduwing op de water- en oeverplanten is afhankelijk van de soort. Riet bleek het meest persistent bij toenemende beschaduwing (Verdonschot et al., 2017b) [Hooge Raam].
- Zwarte els (aan waterkant) en Hazelaar (hoger op de oever) blijken zeer geschikt voor het ontwikkelen van beschaduwing vanwege de snelle groei (Willenswaard en Vugts, 2000; Verdonschot et al., 2017b).
- Beschaduwing vergroot de effectiviteit van beekhout (Verdonschot et al., 2021)



De Bijloop, ruim 25 jaar na aanleg van de beplanting

- De houtige begroeiing heeft ook een landschappelijke en ecologische functie (als visuele versterking van de beekloop, verbindingszone, habitat voor vogels, kleine zoogdieren, insecten, e.d.) (Verdonschot et al., 2017). De keuze voor de boomsoort is hierbij relevant. Vooral inheemse, niet meer veel voorkomende boomsoorten kunnen een toegevoegde waarde aan het beekdallandschap geven. Voorbeelden zijn (Fladder)lep, Linde en Zoete Kers. Bomen hebben een ecologische functie boven water (schaduw, oriëntatiepunt voor paarvluchten van insecten) én onder water (verminderde erosie door beworteling, inval beekhout, schuilplaats voor waterdieren, micromeandering bij omval). Dat kan alleen als bomen ook echt langs de waterlijn staan.
- Ondanks dat organische stof de motor achter het functioneren van beschaduwde beken is, kan verhoging van organische stof als gevolg van inval van blad tot een negatief effect leiden bij lage stroomsnelheden en hoge watertemperaturen. In dat geval ontstaat een grote zuurstofvraag, die tot ecologische problemen kan leiden.
- De wens voor beschaduwing kan botsen met beleidsdoelen voor een open landschap of wensen van bewoners voor een vrij uitzicht. De bedrijfsvoering op landbouwpercelen kan ook bemoeilijkt worden door bijvoorbeeld een teveel aan schaduw of vallende bladeren.

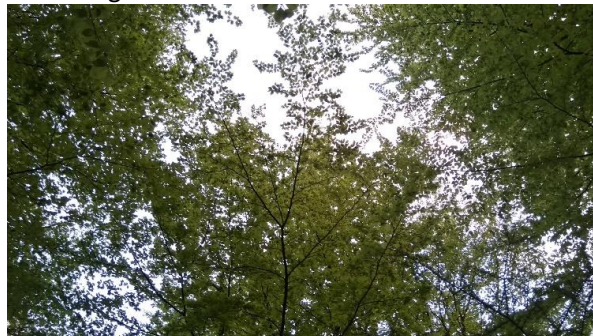
#### **Voorspellen/ modelleren van effecten:**

Voor het berekenen van de mate van beschaduwing door oevervegetatie zijn verschillende modellen in omloop. We lichten er drie uit:

- **SHADE2:** Het model SHADE berekent het percentage van het wateroppervlak dat beschadwd wordt (dus niet direct door de zon beschenen wordt) door oevervegetatie als functie van datum, tijd, locatie, geometrie en vegetatie-karakteristieken. Het model kan met veldmetingen worden getoetst (Li et al, 2012).
- **Model Johnson & Wilby:** te gebruiken voor berekening van de verandering in temperatuur en licht als gevolg van beschaduwing op basis van locatiespecifieke instraling, rekening houden met de datum, tijd en hellingshoek (Johnson & Wilby 2015).
- **Schaduwmodel Tauw:** GIS-module, waarmee een inschatting gemaakt kan worden van de invloed van bomen (beschaduwing en bladval) en gebouwen (schaduw) op de lichtinval (water en oever). Dit model is gebiedsbreed toegepast door waterschap Aa en Maas. Bij deze eenvoudige toepassing is rekening gehouden met twee zonnestanden (38° en 50°) en één zonrichting/tijdstip (zuid). Als input is het waterlopenbestand en het AHN3-bestand gebruikt.



Eénzijdige beschaduwing bij de Leuvenumse beek  
(Foto: Bart Reeze)



Het bladerdek bepaalt de beschaduwing  
(Foto: Bart Reeze)

### 3.3 Beekhout

Definitie: Het inbrengen of laten liggen van stukken/ pakketten (dood) hout in de loop van de beek.

#### Beoogde doelen:

Het primaire doel is meer variatie in stroming en bodemsubstraten.

Overige doelen zijn:

- Opstuwung en/of verhoging van de (grond)waterstand in het beekdal in combinatie met het langer vasthouden van water (anti-verdrogingsmaatregel).
- Invangen of vasthouden van sediment en organisch materiaal, voorkomen van bodemerosie.
- Vervanging van een vistrap.
- Nieuwe habitat creëren voor fauna, flora en micro-organismen door het hout zelf (schuil- en hechtplaatsen) en door toevoeging van substraat en stromingsvariatie.

#### Varianten:

Er zijn verschillende typen houtpakketten, bijvoorbeeld stammen, takkenbossen en stobben. Daarnaast kan gevarieerd worden met configuraties (bijv. langs de oever, midden in de beek, in visgraatpatroon) en de onderlinge afstand tussen de pakketten. Houtpakketten verbeteren effectiever de ecologische kwaliteit wanneer ze permanent onder water liggen, er jaarrond stroming is en er bomen op de oever staan (Verdonschot et al., 2021). In grotere beken en rivieren moet het hout vaak worden verankerd. Beekhout wordt regelmatig toegepast in combinatie met zandsuppletie (paragraaf 3.1).

Beekhout kan worden ingebracht of kan ontstaan door natuurlijke inval. De wijze van aanbreng is maatwerk per locatie. Meer informatie en een gedetailleerde beschrijving van deze typen is te vinden in Verdonschot, P et al. (2016).

#### Waargenomen hydrologische effecten:

- Opstuwung door verhoogde weerstand. De mate waarin wordt o.a. bepaald door de stroomsnelheid, het type pakket (dimensies en configuratie), in relatie tot het doorstrooprofiel. Deze opstuwung kan toenemen als zich blad in de houtpakketten ophooft (Laperre et al., 2014; Coenen, 2017; van Dijk et al., 2016) [Snelle loop, 't Merkske, Ramsbeek].
- Bodemophoging stroomopwaarts van het pakket door aanzanding en aanslibbing (Hofstra, 2014; Schoute, 2018; Verdonschot et al., 2016c; 2017c; Dijksma et al., 2018) [Gasterense diep, Leuvenumse beek, Noorbeek].
- Verhoging van (grond)waterstanden in het beekdal (Hofstra, 2014) [Gasterense diep].
- Verhoogde retentie van water [Leuvenumse beek, Tongelreep].
- Verlegging van de hoofdloop [Lunterse Beek]

#### **Waargenomen ecologische effecten:**

- Toename diversiteit en in abundantie van macrofauna 1 á 2 jaar na de inbreng van houtpakketten. Er is geen verschil tussen de typen houtpakketten (Verdonschot et al., 2021).
- Toename van kenmerkende macrofauna- en vissoorten van beekmilieus door meer variatie in stroming en substraat (Dos Reis Oliveira, 2019; Verdonschot et al., 2012; 2016a; van Dijk et al., 2016; Heeskens, 2019) [Leuvenumse beek, Lunterse beek, 't Merkske, Snelle Loop, Tongelreep, Beekloop, Leerinkbeek, Ramsbeek, Tungalroyse beek].
- Afname van de substraatdiversiteit bovenstrooms van het beekhout door stagnatie, aanzanding en verslibbing, gevolgd door begroeiing met plantensoorten die voedselrijkdom indiceren (Verdonschot et al., 2016c; 2017c; Hofstra, 2014; Schoute, 2018) [Leuvenumse beek, Gasterense diep].

#### **Overige relevante effecten/ aandachtspunten:**

- Hydrologische (stroomsnelheid, afvoerdynamiek) parameter, morfologische (dimensies) parameters en het landschap (aanwezigheid bos) hebben een grotere sturende invloed op de levensgemeenschappen dan de aanwezigheid van het hout (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 3.2.3).
- In combinatie met grootschalige vergraving: breng beekhout pas in wanneer de morfologie stabiel is (doorgaans 3-5 jaar na herinrichting) [Lunterse beek].
- Leg beekhout (ook) op plekken die bij lage afvoeren watervoerend zijn.
- Inundatie kan worden beperkt door de houtpakketten onder de gemiddelde waterlijn aan te leggen; bij hogere waterstanden stroomt het water er dan overheen.
- Het beekhout bestaat bij voorkeur uit autochtoon hardhout (eiken en beuken). (Snoei)hout van wilgen, elzen, populieren en berken vergaat sneller. Wilgen lopen bovendien gemakkelijk uit [Zandwetering].
- Voor veel soorten is de binding met hout facultatief en voldoet een ander stevig substraat ook (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 3.3.3). Voor sommige kokerjuffers (bijvoorbeeld *Lype* spp.) is de aanwezigheid van hout wel essentieel; sommige soorten voeden zich bijvoorbeeld met hout en de bacteriën en schimmels hierin (Spänhoff et al. 2003).
- In vergelijking met stenen biedt hout veel meer habitatdiversiteit, meer ecosysteemcomplexiteit, meer vormen van voedselvoorziening enzovoorts. Daarnaast zijn stenen in de Nederlandse laaglandbeken van nature zeer zeldzaam en daardoor gebiedsvreemd (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 3.5).
- Het type houtpakket is voor de meeste macrofauna niet relevant (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 3.3.3).
- De leeftijd van een houtpakket wordt beschouwd als een belangrijke sturende factor voor de macrofaunasamenstelling, omdat in de tijd de onder andere de beschikbaarheid van voedsel en verschillende soorten habitat verandert (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 3.4).
- Beekhout vergaat na verloop van tijd, spoelt weg of er kan zwerfvuil in blijven hangen. Organiseer het beheer van de beekhout locaties/ pakketten.
- In sommige gevallen wordt geen opstuwung waargenomen door geomorfologische aanpassingen van de beek, zoals een plaatselijke verdieping.

- Breng hout aan in bostrajecten of bij bomen in een meer open landschap om optimaal functioneren te bereiken, o.a. door invangen blad en takken. In volledig open landschap is hout minder passend en leidt vaak tot opstoppingen door sterke vegetatieontwikkeling.

#### Voorspellen/ modelleren van effecten:

- **SOBEK:** Door houtpatches te conceptualiseren kan de mate van opstuwung tot op zeker hoogte worden gemodelleerd met behulp van hydraulische software zoals SOBEK (Coenen, 2017; Wegman, 2018).
- **Model Torfs (2013):** webapplicatie met als doel een eerste analyse van de invloed van lokale verruwing (en aanpassing dwarsdoorsnede) op waterstand en stroming. De input bestaat uit "standaard" parameters als rivier breedte, bodemverhang, debiet en waterhoogte bovenstrooms. Er is gekozen voor vereenvoudigingen: stationaire stroming, een recht stuk rivier, een (breed) rechthoekig profiel en een vast debiet over het te beschouwen traject. Het model is toegepast op de Tungalroyse beek.
- **Model Geertsema (2019):** Parametrisch model, waarmee op basis van afvoer, verhang, beekprofiel en houtpakketprofielen de mate van opstuwung kan worden voorspeld. Het model is gekalibreerd op de Leerinkbeek, Tungalroysebeek, Tongelreep en Ramsbeek.



Beekhout in de Snelle Loop in 2013  
(Foto: Ralf Verdonschot)



Beekhout in de Ramsbeek  
(Foto: Rik Wegman)



Beekhout in de Tungalroyse Beek  
(Foto: Waterschap Limburg)

### 3.4 Aangepast maaibeheer

Definitie: 'Aangepast maaibeheer' betekent een extensiever maaibeheer dat beter is afgestemd op de ecologische potentie van een beek en randvoorwaarden vanuit de hydrologie, met name de afvoerfunctie.

Deze maatregel wordt hoofdzakelijk toegepast in beken in landbouwgebied (onbeschadwd, genormaliseerd, gekanaliseerd, voedselrijk).

#### Beoogde doelen:

- Omvorming van monotone vegetaties (dominantie van één soort) naar meer diverse en minder opstuwende vegetaties.
- Nieuwe of meer habitats creëren voor fauna door het creëren van meer stroming en substraatvariatie.
- Minder verstoring van bestaande habitats/ habitatstructuur door maaien.
- Creëren van meer overgangshabitat tussen de oeverzone en de open water zone (ritsbeheer).
- Minder destructie van organismen door verwijdering.
- Minder beheerinspanning (minder vaak maaien) en maaien buiten perioden met ongewenste neveneffecten.
- Water vasthouden door een verhoogde retentie ('groene stuw'). Op deze manier werkt deze maatregel als anti-verdrogingsmaatregel.



**Varianten:**

Er zijn veel varianten van aangepast maaibeheer. Deze kenmerken zich (o.a.) door een verschil in maaitijdstip, - materieel en -frequentie, de ruimtelijke differentiatie (stroombaanmaaien, eenzijdig maaien, blokmaaien, keuze voor soorten die wel/niet worden verwijderd) en de inzet van materiaal, waarmee bijvoorbeeld de diepte waarop de vegetatie wordt afgesneden kan worden beïnvloed. Meer informatie en een gedetailleerde beschrijving van deze typen is te vinden in Verdonschot et al., 2021 en Verdonschot et al., 2017.

**Waargenomen hydrologische effecten:**

- Opstuwung door verhoogde weerstand en ruwheid. De mate waarin hier sprake van is, wordt bepaald door de hoeveelheid vegetatie die achter blijft en de soort vegetatie. De wijze van maaien of het gemaaide patroon bepaalt direct de mate van opstuwung (Querner, 1985; Eekhout en Hoitink, 2013, Verdonschot et al., 2017; Penning et al., 2018; Penning et al., 2020) [Lage Raam, Eefse beek].

**Waargenomen ecologische effecten:**

- Toename hoeveelheid macrofauna (biomassa), echter geen toename van de biodiversiteit of van het aantal kenmerkende soorten voor laaglandbeken of moerasbeken (Verdonschot et al., 2021) bij éénzijdig sparen en stroombaanmaaien (tweezijdig sparen).
- Toename hoeveelheid vegetatie, geen toename van de biodiversiteit of van het aantal kenmerkende soorten voor laaglandbeken of moerasbeken (Verdonschot et al., 2021). De planten met een voorkeur voor minder voedselrijke standplaatsen (oligo- tot mesotroof), hebben een structureel hogere bedekking in de oeverzone van de stroombaanmaaien-trajecten (Verdonschot et al., 2021).
- Macrofauna reageert sterker op de verandering in maaibeheer dan de vegetatie (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 2.6).
- Ontstaan van een hogere stroming in de geul, vaak met planten met lintvormige onderwaterbladeren (aangepast aan stroming), zoals pijlkruid en kleine egelskop (Hendriks et al., 2016) [proeftrajecten Hunze en Aa's].
- Toename van de substraat variatie, geen toename van de stroomsnelheid (Verdonschot et al., 2017a) [Lage Raam].

**Overige relevante effecten/ aandachtspunten:**

- In beken in landbouwgebied (onbeschaduwd, genormaliseerd, gekanaliseerd, voedselrijkwater) heeft maaibeheer een kleine invloed op de samenstelling van vegetatie en macrofauna. Factoren zoals stroming, het landgebruik van de aanliggende percelen en de substraatsamenstelling hebben een grotere invloed (Verdonschot et al., 2021).
- Het meest positieve effect op macrofauna wordt bereikt door om het jaar te stroombaanmaaien (1 jaar sparen van vegetatie). Bij twee jaar sparen van de vegetatie (om de twee jaar maaien) neemt het verschil in effectiviteit tussen éénzijdige sparen of stroombaanmaaien af. Ritsbeheer heeft geen meerwaarde (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 2.6).
- Het meest positieve effect op vegetatie wordt bereikt door om het jaar te maaien (1 jaar sparen). Ritsbeheer kan het effect versterken bij het maaien om de 2 jaar (2 jaar sparen) (Verdonschot et al., 2021, paragraaf 2.6).
- De voordelen van aangepast maaien nemen in de tijd af door biomassaproductie in de vegetatiezone (leidend tot lagere stroomsnelheden, verslibbing, eutrofiëring, organische belasting) (Gurnell et al. 2006).
- Door de toegenomen vegetatiedichtheid wordt meer organisch materiaal vastgehouden, met name tijdens hoge afvoeren (Verdonschot et al., 2021). Er kan een tweefasenprofiel ontstaan met aanslibbing in de zone waar de vegetatie blijft staan en erosie in de zone waar wordt gemaaid [Kleine Beerze, Reusel, Hunze, Eefse Beek].
- Het gebruikte materieel en de manier waarop de watergang wordt geschoond (bijv. diepte waarop maaiakorf door watergang gaat en of het sediment geraakt wordt), de timing (in verband de flora en

fauna wetgeving) en maaifrequentie hebben invloed op het uiteindelijke effect op de vegetatie en fauna (Twisk et al. 2000).

- Maaien met een maaiboot heeft maar een beperkt effect op de waterkwaliteit en de koolstof- en stikstofbalans. De hoeveelheid opgelost organisch koolstof (DOC), nutriënten en zwevende stof lijken niet te worden beïnvloed door maaien (Penning et al., 2020) [Eefse beek]. Dit geldt alleen als de bodem ongeroerd blijft (als de bodem niet geraakt wordt door de maaibalk doordat de planten boven de bodem worden afgeknipt of door de inzet van een amfibievoertuig).
- Het is in de praktijk lastig om het gewenste maaibeheer uit te voeren, meestal omdat er vaker gemaaid moet worden om overlast te voorkomen of omdat de water aan- en afvoerfunctie behouden moet worden op bepaalde momenten in het jaar (Moeleker en Brugmans, 2019).
- Vroeg in het seizoen maaien zorgt voor een tragere hergroei van sommige waterplanten, waardoor minder vaak gemaaid hoeft te worden (Schrader, 2017). Vanwege de gedragscode is dit meestal niet de praktijk [Eefse beek, Zuidelijk afwateringskanaal, Afwatering van Herkel, Molenbeek].
- Het talud wordt stabiel door een betere beworteling van vegetatie (Hendriks et al., 2016).
- Bij het uitvoeren van anti-verdrogingsmaatregelen kunnen afvoeren veranderen wat een effect heeft op het gewenste maaionderhoud (Querner, 1999).

#### **Voorspellen/ modelleren van effecten:**

- **SOBEK/ MaaibOS:** Beslis en Ondersteunend Systeem voor maaibeheer. In SOBEK wordt een relatie opgesteld tussen de afvoer en waterpeilen voor een gegeven beektraject. Wanneer deze relatie boven een bepaalde kritische waarde komt, omdat het water te veel weerstand ondervindt, wordt (pas) ingegrepen en dus gemaaid [Lage Raam, Dommel]. Voor een modellering van maaionderhoud in SOBEK zie bijvoorbeeld van Tilburg (2018).
- **Pitlo en Griffioen:** Hebben op basis van een aantal intensieve en nauwkeurige metingen in begroeide waterlopen een model afgeleid voor het berekenen van peilverloop in watergangen. Deze is omgezet in een spreadsheet, waarmee waterbeheerders o.a. het effect van verschillende onderhoudsingenrepen, zoals het maaien van een stroombaan, kunnen voorspellen (Griffioen, 2017). Bij toepassing van dit model in het onderzoek van Verdonschot et al. (2021) wordt geconcludeerd dat dit model bij lage afvoeren het verhang onderschat en het effect van maaien overschat.
- **MWW Querner:** Het programma MWW (Maaionderhoud Waterlopen door Waterschappen) berekent de tijdstippen van maaionderhoud voor een waterloop afhankelijk van de kans op een zekere afvoer en een bepaalde vegetatie ontwikkeling in de zomer. Ook kan voor gegeven tijdstippen van maaionderhoud de verwachte afvoercapaciteit worden bepaald ter beoordeling van het risico van wateroverlast (Querner, 1995a, 1995b en 1996).
- **Dotter (in ontwikkeling):** In het Dotterproject wordt onderzoek gedaan naar het inwinnen van vlakdekkende informatie over de vegetatie in een watergang met behulp van een drone met een multispectrale camera. Informatie over de vegetatie bedekking, locatie en soort, en het effect van deze vegetatie op de waterpeilen worden gebruikt om locatiespecifiek een efficiëntere en ecologisch betere manier van maaien te ontwikkelen (Eertwegh en Penning, 2017; Linneman, 2018) [Lage Raam, Linge, Grote beek].
- **Tool ESF Verwijdering:** Met de quick-scan en tool kan grof voorspeld worden wat het gevolg is van een verwijderingsregime op het voorkomen van (water)planten. Het resultaat is een lijst van soorten die in volgorde worden gezet van kwetsbaarheid voor de opgegeven verwijderingsdruk. De tool is niet gevalideerd op basis van veldwaarnemingen (STOWA 2018-26).



Proef met éénzijdig maaien in de Oude Leij  
(Foto: Waterschap Brabantse Delta)



Stroombaanmaaien in de Lage Raam  
(Foto: Albert Dees)

## 4. Randvoorwaarden

De effectiviteit van de 4 onderzochte kleinschalige BmN-maatregelen (zandsuppletie, beschaduwing, beekhout en aangepast maai-beheer) in een beek is afhankelijk van een aantal randvoorwaarden. Onderstaande beschouwing van deze randvoorwaarden is gebaseerd op de interviews met de leden van de STOWA-werkgroep Bouwen met Natuur, literatuur en expertkennis van de auteurs.

### 4.1 Randvoorwaarde: Het systeem

De belangrijkste randvoorwaarde is de gesteldheid van het gehele systeem. Om (optimaal) effect te bereiken met het toepassen van BmN maatregelen is het van belang dat belemmerende factoren in het grotere systeem (het stroomgebied) geen beperkingen opleggen. Het is daarom relevant een systeemanalyse te doen en de knelpunten (zoals hydrologische, morfologische, landschappelijke, chemische) in beeld te brengen (dit kan bijvoorbeeld met de Ecologische Sleutelfactoren)(zie Besselink et al., 2017, Verdonschot et al., 2015); . Deze factoren, die spelen op regionale beekdal- of systeem-schaal, bepalen in hoge mate de uiteindelijke effectiviteit van een maatregel op lokale schaal (Verdonschot et al., 2021).

Zo zijn de sturende parameters bij aangepast maai-beheer de nutriënten- en sliblast, het kolonisatiepotentieel, de mate waarop het natuurlijk waterpeil benaderd wordt en de vestigingsruimte voor water- en oeverplanten in de vorm van graduele nat-droog overgangen op de oevers (Verdonschot et al., 2021).

Voor houtinbreng zijn dit stroomsnelheid, afvoerdynamiek, dimensies van de beek en het omliggend landschap (bos of geen bos) (Verdonschot et al., 2021).

### 4.2 Randvoorwaarden: Hydrologie & morfologie en licht

Specifiek zijn er twee randvoorwaarden die het meeste invloed hebben op de werking van de BmN maatregelen, de hydrologie en morfologie en licht:

1. Onvoldoende stroming leidt tot een monotoon (slib)substraat, algen- of kroosontwikkeling en zuurstoftekort door een gebrek aan reaeratie.
2. Bij onvoldoende beschaduwing groeit de waterloop doorgaans dicht met waterplanten en/of oeverplanten. Voor de kenmerkende soorten in beken is dit ongewenst: kenmerkende substraten raken overgroeid en er ontstaan problemen met zuurstof omdat planten 's nachts zuurstof gebruiken. Veel kenmerkende beeksoorten hebben juist veel zuurstof nodig. Geringe waterdiepte en een sterkere opwarming van de watertemperatuur versterken aangegeven effect.

De BmN maatregelen zandsuppletie en beschaduwing zijn rechtstreeks van invloed op deze twee randvoorwaarden. De BmN maatregelen beekhout en aangepast maai-beheer zijn alleen van toepassing (of effectief) bij bepaalde combinaties van deze randvoorwaarden.

## Hydrologie en morfologie

De belangrijkste randvoorwaarde voor effectieve BmN maatregelen in beken is de continue aanwezigheid van tenminste enige stroming (m.n. in de zomersituatie) en een stabiele morfologie (geen netto erosie of sedimentatie).

Voor de aanwezigheid van enige stroming en een stabiele morfologie is het volgende van belang:

- Er is afvoer in de zomersituatie, de zogenaamde 'basisafvoer'.
- Het waterpeil reageert (zakt of stijgt mee) met de afvoer en wordt dus niet beheerst door stuwen.
- Er is sprake van een natuurlijk dwarsprofiel met een 'talweg' waar het water zich kan concentreren bij lagere afvoeren.
- Het lengte- en dwarsprofiel passen bij het afvoerregime (jaarlijkse piekafvoer), het verhang en de samenstelling van het beddingmateriaal (mediane korrelgrootte) (Makaske en Maas, 2015).
- De aan- en afvoer van sediment (zand, slib, organisch materiaal) zijn met elkaar in evenwicht.

De BmN maatregel *zandsuppletie* draagt bij aan het creëren van een kleiner en natuurlijker (evenwichts)profiel. Hiervoor gelden de volgende aanvullende randvoorwaarden:

- Er is voldoende afvoer in de wintersituatie om het zand te transporteren.
- Stroomsnelheden worden niet te hoog, omdat anders het zand weer weg erodeert. Als er ruimte is kunnen piekafvoeren worden afgeleid en/of opgevangen in het aanliggende beekdal of in beekmoerassen.
- Er is overal voldoende bovenstroomse aanvoer van zand zodat erosie en sedimentatie met elkaar in evenwicht blijven.
- Daarnaast gelden voor deze maatregel de randvoorwaarden voor beschaduwing, zie onder punt 2.

N.B. Om aan deze randvoorwaarden te kunnen voldoen, is veelal een beekdalbrede aanpak met aangepaste normering (voor wateroverlast) voor de laagstgelegen gebieden noodzakelijk.

## Licht

De hoeveelheid licht bepaalt in belangrijke mate de effectiviteit van BmN maatregelen.

De BmN maatregel *beschaduwing* is bedoeld om de hoeveelheid licht te beperken, zodanig dat de waterloop niet meer (geheel) dicht groeit met waterplanten.

- Voor effectieve beperking van de groei van waterplanten (zoveel dat er niet meer gemaaid hoeft te worden) is een beschaduwing nodig van minimaal 70% (Verdonschot et al., 2016b; Torenbeek et al., 2018).
- In grotere (en diepere) benedenlopen (>1,20 m) wordt de hoeveelheid licht op de bodem vaak ook beperkt als gevolg van vertroebeling van de waterkolom. Bij een waterdiepte van 1,2 m is de inkomende licht intensiteit ca. 90% afgenomen en kunnen waterplanten bijna niet meer groeien (Querner, 1993). In dit geval is bovenstaande randvoorwaarde minder van belang. Beschaduwing kan nog wel gewenst zijn om (lokaal) de ontwikkeling van de oevervegetatie te beperken.

Ook voor de maatregel *beekhout* is het van belang dat de waterloop niet geheel dicht mag groeien met waterplanten en/of oeverplanten. Het beekhout vormt bovendien een hinderlijk obstakel bij het maai-beheer. In de praktijk wordt het dode hout al snel weer samen met de waterplanten verwijderd. Daarom gelden voor deze maatregel allereerst de randvoorwaarden voor beschaduwing (onder punt 2). Voor een goede ontwikkeling van de beekfauna gelden daarnaast de genoemde randvoorwaarden voor stroming en een stabiele morfologie (zie onder punt 1).

Houtpakketten verbeteren effectiever de ecologische kwaliteit wanneer ze permanent onder water liggen, er jaarrond stroming is en er bomen op de oever staan (Verdonschot et al., 2021).

De maatregel (*aangepast*) *maai-beheer* is alleen van toepassing in situaties die niet beschaduwd zijn (of kunnen worden).

- Bij *voldoende stroming in de zomersituatie (>20 cm/s)* ontstaat een evenwicht tussen de stroomsnelheid en de groei van waterplanten (Torenbeek et al., 2018; Verdonschot et al., 2017b). Voor de ecologische effecten is (*aangepast*) *maai-beheer* dan niet nodig. Overigens kan het in deze situatie wel nodig zijn om *aangepast maai-beheer* uit te voeren met het oog op (ongewenste) hydrologische effecten van de plantengroei (bijvoorbeeld bij verstoppingen).
- In de praktijk zal *aangepast maai-beheer* vooral van toepassing zijn in situaties met *onvoldoende stroming in de zomersituatie (<20 cm/s)*. Voor voldoende effectiviteit van de maatregel zijn dan de volgende randvoorwaarden van belang:
  - De waterbodemkwaliteit moet op orde zijn, m.n. nutriënten (geen slib) (Dos Reis Oliveira, 2019).
  - De waterkwaliteit moet op orde zijn, m.n. de nutriëntenbelasting (Verdonschot et al., 2017; 2017b).

## 5. Kosten en baten

De kosten van BmN maatregelen zijn significant lager dan de kosten van traditioneel beekherstel. Dit wordt gesteld op basis van interviews met waterschapmedewerkers die betrokken zijn bij BmN-projecten en expertkennis. Een belangrijke kanttekening is dat er nog weinig empirische informatie is om dit te onderbouwen. Conclusie is dat er vanuit kosten en baten oogpunt geen redenen zijn om het concept van BmN niet standaard mee te nemen als alternatief voor conventionele maatregelen. Zie verder de Putter, 2020.

## 6. Governance

Vanuit governance zijn er geen redenen om het concept van BmN niet als een van de maatregelalternatieven te onderzoeken. Het wordt reeds door alle beekwaterschappen toegepast, het is goedkoper dan traditioneel beekherstel, het is effectief en draagt bij aan ecologisch herstel en het heeft geen juridische of technische bezwaren. Dit is de reden dat onder andere de Unie van Waterschappen en veel waterschapsbesturen BmN-maatregelen ondersteunen.

Onbekendheid, onzekerheid en gebrek aan kennis in een groot deel van de ambtelijke en uitvoerende organisatie blijken de belangrijkste hindernissen om de stap ook echt te maken. De UvW zet zich actief in om deze hindernissen weg te nemen. Zie verder de Putter, 2020 en Travaille, 2020.

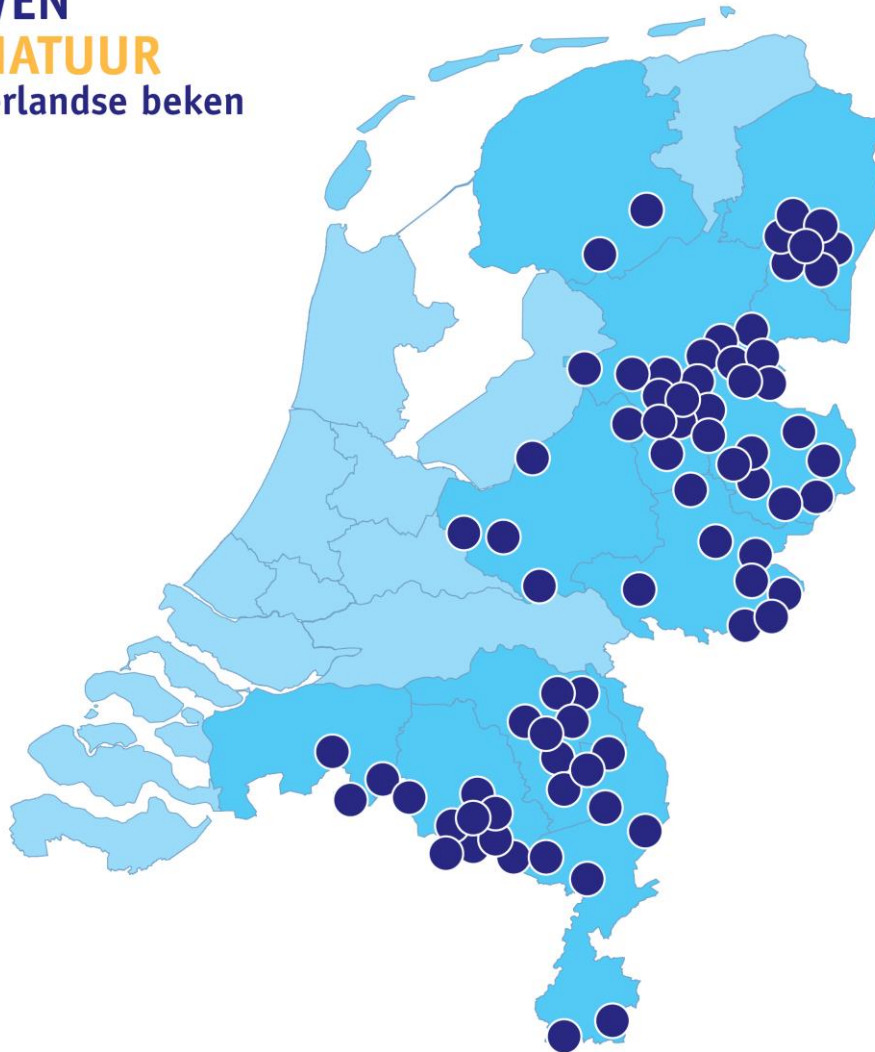
## 7. Praktijkervaring en lopende onderzoeken

Er is veel ervaring opgedaan met de vier Bouwen-met-Natuurmaatregelen. Het wordt reeds door alle beekwaterschappen toegepast. Onderstaande kaart geeft een overzicht.

In een afzonderlijk document is een tabel opgenomen met een overzicht van de in interviews genoemde gedocumenteerde projecten en overige niet gedocumenteerde projecten waar al wel ervaring is opgedaan met BmN maatregelen. De beken uit deze tabel zijn ook te vinden op:

[https://restorerivers.eu/wiki/index.php?title=Main\\_Page](https://restorerivers.eu/wiki/index.php?title=Main_Page).

## **BOUWEN MET NATUUR** in Nederlandse beken



Veel projecten maken deel uit van grootschalige onderzoeksprojecten, m.n.:

- Beekdalbreed Hermeanderen – STOWA (afgerond, zie Verdonschot et al., 2012).
- Kleinschalige Maatregelen Brabantse beken (afgerond, zie Verdonschot et al., 2017).
- Lumbricus – Boeiende Beekdalen– WUR, STOWA, WENR, Deltares, Twente University (lopend).
- Aangepast beheer en onderhoud kleinschalige maatregelen in beken (OBN/STOWA) – Alterra (lopend).
- Dotter – Deltares, KnowH2O (lopend).

### **8. Kennisleemten**

Uit de interviews en literatuur is gebleken dat veel kennis gebaseerd is op de projecten die deel uitmaken van grootschalige onderzoeken. Er zijn relatief weinig andere onderzoeken die de effecten van de BmN maatregelen goed beschrijven. In veel gevallen is er beperkt gemonitord, bijvoorbeeld slechts op enkele locaties gedurende een korte tijdsperiode. Verder worden per waterschap verschillende parameters en methoden toegepast, waardoor resultaten lastig te vergelijken zijn. Ten slotte worden de resultaten vaak niet gedocumenteerd in een (afsluitende) monitoringrapportage. Daarnaast is er bij beekherstel projecten vaak sprake van een herinrichting waarbij meerdere maatregelen tegelijk worden uitgevoerd.

Hierdoor zijn de effecten die bij een project worden gemeten vaak niet terug te leiden op afzonderlijke maatregelen, zie onder andere Didderen et al. (2009). Dit alles bemoeilijkt een goede beschrijving van de waargenomen effecten.

Wat betreft de gedocumenteerde effecten van de vier BmN maatregelen valt op dat deze vooral betrekking hebben op de biologie en dan met name de macrofauna in relatie tot de stroomsnelheid en variatie in bodemsubstraten. De overige aspecten worden slechts sporadisch gemonitord en gedocumenteerd. Dit geldt voor effecten op respectievelijk de hydrologie (waterstanden en stroomsnelheden), de waterkwaliteit en de waterplanten (soortensamenstelling en abundantie) en vissen. Er zijn diverse methoden beschikbaar om de effecten van de vier BmN maatregelen te voorspellen en te modelleren. Van de meeste methoden zijn ook voorbeeldtoepassingen beschikbaar. Veel methoden zitten echter nog in de ontwikkelfase en de toepassing is specialistisch en tijdsintensief.

Op grond van deze inventarisatie kunnen we het volgende zeggen:

- We kunnen hydrologische en ecologische voor- en nadelen benoemen op grond van de gedocumenteerde kennis, maar zeker niet volledig. In de paragrafen 3.1 t/m 3.4 zijn deze per maatregel benoemd.
- Een goede beschrijving van waargenomen effecten wordt bemoeilijk door een gebrek aan gestandaardiseerde, breed opgezette en gedocumenteerde monitoring, zowel voorafgaand aan de ingreep (nulmetingen) als na het inzetten van de maatregelen (effectmetingen). Resultaten van monitoring zijn vaak onderling niet goed vergelijkbaar. Bovendien geldt dat elke situatie uniek is en maatregelen onderdeel zijn van een breder pakket.
- Er is enige algemene kennis over de variatie van de hydraulische weerstand in de watergangen door het jaar heen als gevolg van vegetatieontwikkeling, maar we zijn nog niet goed in staat om de hydraulische weerstand voor een locatie of traject voldoende te voorspellen of te modelleren. De hiervoor ontwikkelde methoden zijn nog niet gebruiksklaar.
- Er kan met de vier BmN maatregelen ontwerp- of beheerinvloed op de hydraulische weerstand worden uitgeoefend, maar het is niet altijd mogelijk de effecten voor een locatie of traject vooraf goed te voorspellen.

## 9. Literatuurlijst

- Besselink, D., Logemann, D., Werfhorst, H. van de, Jansen, A., Reeze, B (2017). Handboek ecohydrologische systeemanalyse beekdallandschappen. STOWA-rapport 2017-05.
- Browne, G., Kwaadsteniet, P. de, Schmidt, G. Kempen, J. van (2016). Werken aan klimaatbestendige beken - Wat is het effect van beekbegeleidende beplanting op beektemperatuur? H2O-Online.
- Coenen, D. (2017). Hydraulisch effect van dood hout in 't Merkske. Waterschap Brabantse Delta, Breda. Memo versie 20 oktober 2017.
- Didderen K., Verdonschot, P., Knegtel, B. en Besse-Lototskaya, A. (2009). Enquête beek(dal) herstelprojecten 2004-2008. Evaluatie van beekherstel over de periode 1960-2008 en analyse van effecten van 9 voorbeeldprojecten. Alterra Rapport 1858.
- Dijk, P. van, Roelofs, G., Vos, M. de, Lenssen, J. (2016). Beekhout in de Ramsbeek en Leerinkbeek. Ervaringen van de eerste twee jaar. Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem. Tussenrapport, 20 mei 2016.
- Dijksma, D., Campuzano Izquierdo, G., Korsten, M. (2018). Woody debris jams to prevent stream bed erosion in a semi-natural brook system. TERRAenVISION Abstracts, 1.
- Dos Reis Oliveira, P.C. (2019). The landscape drives the stream. Unraveling ecological mechanisms to improve restoration. PhD Thesis. Universiteit van Amsterdam, The Netherlands.
- Eertwegh, G. van den, Penning, E. (2017). Towards coupled risk-based aquatic vegetation management and EU-WFD-targets. KnowH2O, Berg en Dal. Final Report, April, 2017.
- Griffioen, C. (2017). Peilverloop in begroeide watergangen. Handleiding spreadsheet tool voor het rekenen met het model van Pitlo en Griffioen. STOWA, Amersfoort. STOWA 2017-43.
- Gurnell, A.M., van Oosterhout, M.P., de Vlieger, B., Goodson J.M. (2006) Reach-scale interactions between aquatic plants and physical habitat: River Frome, Dorset River Research and Applications, 22:667-680.
- Haterd, R.J.W. van de, Drost, M.A.M. van, Soes, D.M., Heunks C. (2009). Effecten van extensiever waterbeheer op ecologie en hydrologie: Een pilot in het stroomgebied van de Raam. Culemborg: Bureau Waardenburg bv.
- Heeskens, M. (2019) De invloed van het inbrengen van dood hout in de Tungelroyse beek op de aquatische ecologie. Stagerapport. HAS Hogeschool Venlo.
- Hendriks, P., Schollema, P., Pot, R., Ottens, H., Querner, E., Verdonschot, R.C.M. (2016). Ruimte voor natuur bij onderhoud aan watergangen. H2O-online.
- Hofstra, R. (2014). Beek op Peil. Groningen: Dienst Landelijk Gebied.
- Houten, G. van den, ter Maat, H., Vos, M. de (2018). Werking 'houten' vispassages Veddersweg en Lankheterweg. Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem. Memo Advies en Strategie, 28 mei 2018.
- Johnson, Matthew & Wilby, Robert. (2015). Seeing the landscape for the trees: Metrics to guide riparian shade management in river catchments. Water Resources Research. 51. n/a-n/a. 10.1002/2014WR016802.



Laperre, R.E., Brugmans, B., Kerkhoff, M.A.J. (2014) Dood hout brengt leven in de Snelle Loop in Gemert-Bakel. *Land+Water*, 1/ 2, 22-24.

Laseroms, R., 2013. Hydromorfologisch onderzoek Lunterse Beek. Monitoring en modellering van de hydromorfologie in de zoektocht naar het ontwerp van een ecologisch goed functionerende beek. LWRO, 's Hertogenbosch. Documentnummer 1112.01/R02. 22 november 2013.

Li, Guoyuan & Jackson, C. & Kraseski, Kristin. (2012). Modeled riparian stream shading: Agreement with field measurements and sensitivity to riparian conditions. *Journal of Hydrology*. S 428–429. 142–151. 10.1016/j.jhydrol.2012.01.032.

Linneman, R.H. (2017). Risicogestuurd Maaibeheer: Toetsing van maaistrategieën in beken met het Dottermodel. BSc Thesis. TU Twente, Enschede, Nederland.

Lorenz, H.W., Korte, T., Sundermann, A., Januschke, K. & Haase, P. (2012). Macrophytes respond to reach-scale river restorations. *Journal of Applied Ecology*, 49, 202-212.

Makaske en Maas, 2015. Handboek geomorfologisch beekherstel. Leidraad voor een stapsgewijze en integrale ontwerpaanpak. STOWA, Amersfoort. STOWA-rapport 2015-02.

Moeleker, M. en Brugmans, B. (2019). Omvorming vegetatie in frequent gemaaide waterlopen Waterschap Aa en Maas. Waterschap Aa en Maas, 's-Hertogenbosch. Afdeling Onderzoek & Monitoring, 3 mei 2019.

Palmer, M.A., Menninger, H.L, Bernhardt, E., (2010). River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? *Freshwater Biology*, 55, 205-222.

Penning, E., Noorlandt, R., Berends, K., Fraaije, R., Eertwegh, G. van den (2018). Nieuwe overwegingen voor maaibeheer met vlakdekkende informatie over vegetatie. H2O-Online.

Penning, E., Berends, K., Schoelynck, J., Reitsema, R. (2020). Rapportage stroombaanmaaien-veldproef Eefse Beek 2019 binnen OBN-project aangepast beheer. Deltares/ Universiteit Antwerpen, Utrecht/ Antwerpen. Memo 18 januari 2020.

Querner, E.P., (1985). De invloed van vegetatie op het water doorvoerend vermogen van een waterloop. ICW, Wageningen. Nota 1600. 58 blz.

Querner, E. P., (1995a). Maaionderhoud waterlopen; handleiding voor het programma MWW (versie 2.1). Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch Document 23. 44 blz.

Querner E.P., (1995b). Vaststellen maaionderhoud in waterlopen; Hydrologische benadering. Het Waterschap 80(4): 170-175.

Querner E.P., (1995c). De stromingsweerstand en de berekening van de afvoer in begroeide waterlopen. Het Waterschap 80(9): 350-355.

Querner E.P., (1996). Het model MWW: hydrologisch model voor vaststellen en evalueren maaionderhoud. Het Waterschap 81(18): 609-611.

Querner, E.P., (1999). Invloed anti-verdrogingsmaatregelen op afvoerregime en het benodigde maaionderhoud. Het Waterschap. 84(13): 588-593.

Reeze, B. en R. Laseroms, 2018. Ecologische sleutelfactoren stromende wateren, tussenrapportage hydrologie en morfologie. STOWA, Amersfoort. STOWA-rapport 2018-57.

- Roni, P., Hanson, K. & Beechie, T. (2008). Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat restoration techniques. *North American Journal of Fisheries Management*, 28, 856-890.
- Schoute, R. (2018). *Beek op Peil: Vervolgonderzoek in het Gasterense Diep. Stagerapport. Hogeschool van Hall Larenstein in samenwerking met Waterschap Hunze en Aa's.*
- Schrader, T.W.D. (2017). *Vegetatieontwikkelingen na maaien van watergangen. BSc Thesis. Wageningen UR, Wageningen. Oktober 2017.*
- Spänhoff, B., Schulte, U., Alecke, C., Kasechek, N., Meyer, E. 2003. Mouthparts, gut contents, and retreat-construction by the wood-dwelling larvae of *Lype phaeopa* (Trichoptera: Psychomyiidae). *European Journal of Entomology* 100:563-570
- STOWA. (2018). *Ecologische sleutelfactor verwijdering. STOWA 2018–26. ISBN 978.90.5773.794.7.*
- Tauw (2019). *Notitie Schaduwonderzoek stromende wateren waterschap Aa en Maas. Tauw, Utrecht. Kenmerk N001-1268154CAW-V01-nda-NL. 28 mei 2019.*
- Tilburg, I van (2018). *Risk-based vegetation maintenance in regional water systems. Master thesis TU Delft, februari 2018. Sn 4149742.*
- Torenbeek, R., B. Grutters, G. van Geest en R. Pot, 2018. *Ecologische sleutelfactoren Bufferzone en Waterplanten. Tussenrapportage. STOWA, Amersfoort. STOWA 2018-28.*
- Twisk, W., Noordervliet, M.A.W., ter Keurs, W.J. 2000. Effects of ditch management on caddisfly, dragonfly and amphibian larvae in intensively farmed peat areas. *Aquatic Ecology* 34: 397-411.
- Verdonschot, P.F.M., van der Hoek, Tj.H. & M.W. van den Hoorn, (2004). *De effecten van bodemverhoging op het beekecosysteem van de Springendalse beek. Alterra rapport 1075, Alterra, Wageningen.*
- Verdonschot, P.F.M, Besse, A., Brouwer, J. de, Eekhout, J., Fraaije, R. (2012). *Beekdalbreed Hermeanderen: Bouwstenen voor de 'Leidraad voor Innovatief Beek- en Beekdalherstel'. STOWA, Amersfoort. STOWA 2012-36.*
- Verdonschot, P.F.M., Verdonschot, R.C.M., Besse-Lototskaya, A. (2015). *ESF stromende wateren en stroomgebiedsbrede ecologische systeemanalyse. H2O-Online 27 augustus 2015.*
- Verdonschot, R.C.M. et al. (2014). *Effects of shading on stream water temperature and stenothermic macroinvertebrates; a synthesis of the findings along the trans-European latitudinal climate gradient. REFRESH: Adaptive strategies to Mitigate the Impacts of Climate Change on European Freshwater Ecosystems Deliverable 2.11 + 2.12*
- Verdonschot, R.C.M., Brugmans, B., Moeleker, M., Verdonschot, P.F.M. (2016a). *Evaluatie van de ecologische effectiviteit van de houtconstructies in de Snelle Loop. H2O-online.*
- Verdonschot, R.C.M., Brugmans, B., Scheepens, M., Coenen, D., Verdonschot, P.F.M. (2016b) *Invloed van beekbegeleidende bomen op de ecologische kwaliteit van Noord-Brabantse beken. H2O-online.*
- Verdonschot, R.C.M., Dekkers, D.D., Besse-Lotoskaya, A.A. & P.F.M. Verdonschot (2016c) *Zandsuppletie in de Leuvenumse beek: monitoring van de fysische en biologische effecten 2014-2015. Zoetwatersystemen, Alterra Wageningen UR, Wageningen.*

Verdonschot, R.C.M., Bauwens, J., Brugmans, B., Dees, A., Kits, M., Moeleker, M., de Hoog, J., Scheepens, M., Barten, I. en Coenen, D., (2017). Kennisoverzicht kleinschalige maatregelen in Brabantse beken. Amersfoort: Stowa.

Verdonschot, R.C.M., Brugmans, B., Kits, M. Moeleker, M. (2017a). Effect van stroombaanmaaien op de ecologische kwaliteit van de Lage Raam: een verkennend onderzoek. H2O-online.

Verdonschot, R.C.M., Brugmans, B. Barten, I., Scheepens, M. (2017b). De relatie tussen beschaduwing en de groei van waterplanten in twee beken in Noord-Brabant. H2O-online.

Verdonschot, R.C.M., Dekkers, T.B.M., Verdonschot P.F.M. (2017c) Monitoring effecten zandsuppletie Leuvenumse beek 2016. Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.

Verdonschot, R.C.M., Verdonschot P.F.M. (2017d) Monitoring effecten zandsuppletie Leuvenumse beek 2017. Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.

Verdonschot, R.C.M. Verdonschot P.F.M. (2019) Monitoring effecten zandsuppletie Leuvenumse beek 2018. Notitie Zoetwatersystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.

Verdonschot, R., E. Penning, K. Berends, J. Schoelynck, R. Reitsema en P. Verdonschot, 2021. Aangepast beheer en onderhoud en kleinschalige maatregelen beken. Rapport nummer 2021/OBN243-BE, VBNE, Driebergen.

Wegman, R. (2015). De opstuwingseffecten van dood hout. Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem en TU Twente, Enschede, Nederland. BSc Thesis.

Willenswaard, R.C. van, Vugts, J.E.W.M. (2000). Oeverbeplanting langs de Bijloop. Eindrapport. Dienst Landelijk Gebied, Tilburg. 23 p.

Auteurs:

B. Reeze, Bart Reeze Water & Ecologie

S. Schep, Witteveen+Bos

M. Slob, Witteveen+Bos

E. Querner, Querner Consult

E. van der Kooij, TUDelft (stagiair)

Redactie:

B. Tiehatten, STOWA

P. Chan, STOWA

R. Verdonschot, WenR

W. Wiersinga, OBN

Geïnterviewden STOWA werkgroep Bouwen met Natuur:

C. Huising, Waterschap Vallei en Veluwe

M. Veldhuis, Waterschap Vallei en Veluwe

M. Stamhuis, Waterschap Brabantse Delta

S. Verheijen, Drents Overijsselse Delta

B. Spierings, Waterschap Aa en Maas

J. van Keulen, Waterschap Aa en Maas

B. Brugmans, Waterschap Aa en Maas

I. Barten, Waterschap de Dommel

E. Galetzka, Waterschap Hunze en Aa's  
K. Koops, Wetterskip Fryslan  
J. Lenssen, Waterschap Rijn en IJssel  
M. Zonderwijk, Waterschap Vechtstromen  
A. Soetens, Waterschap Limburg

## 10 DISCLAIMER

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