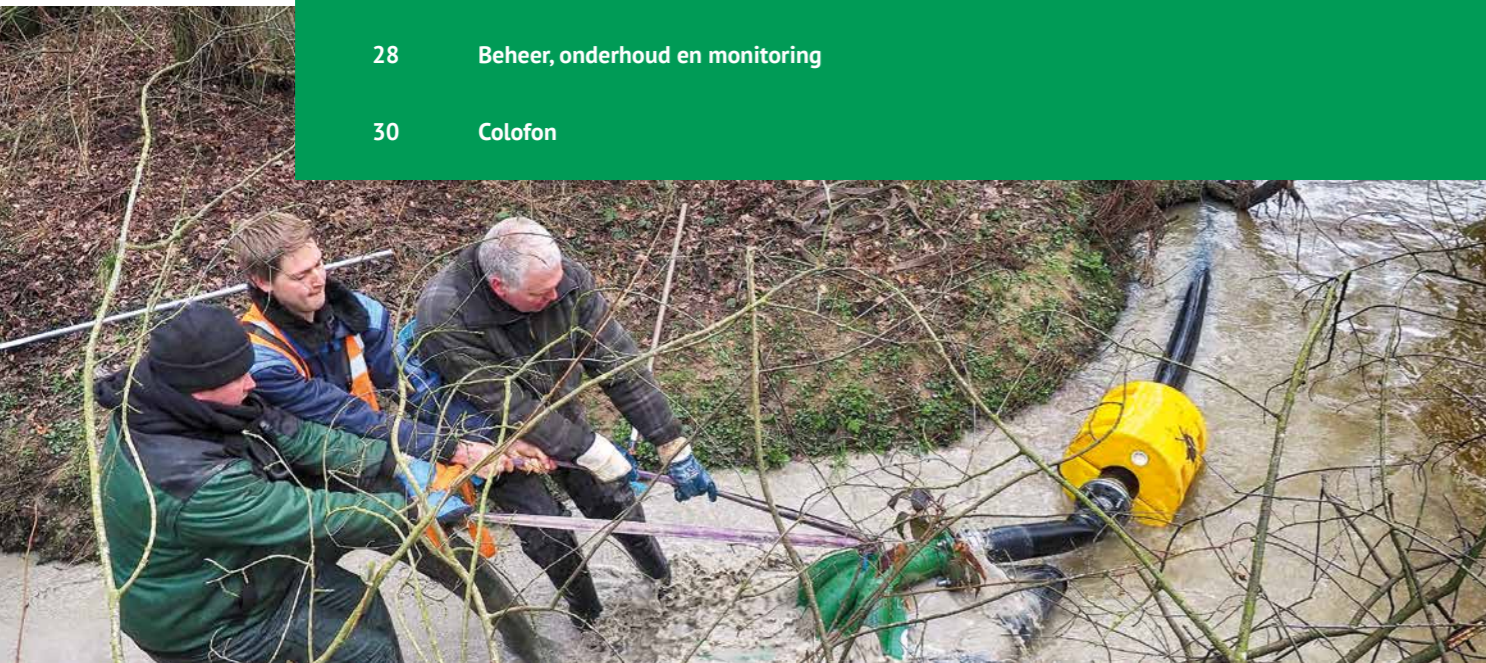


Ophogen van beekbodems

Ontwerp en uitvoering van beekbodemverhoging
met zand, grind en dood hout



4	Inleiding
6	Referentiebeeld
9	Waarom treedt beekbodemerrosie op?
12	Effecten van beekbodemerrosie
14	Vorbereiding, ontwerp, uitvoering
24	Effecten van het ophogen van de beekbodem
28	Beheer, onderhoud en monitoring
30	Colofon



Zandsuppletie in het Anloerdiepje, foto: HD

Auteurs
OBN Deskundigenteam Beekdallandschap

Uitgave
VBNE / OBN Natuurkennis 2024

Voorwoord

Bijna 20 jaar geleden werd in enkele kleinschalige experimentele projecten gestart met beekbodemverhoging door zandsuppletie, inbreng van grind en dood hout. Inmiddels worden deze maatregelen op steeds meer plekken en op steeds grotere schaal toegepast. In deze brochure worden praktijkervaringen en resultaten van onderzoek van een breed scala aan uitgevoerde

projecten in Overijssel (Twente), Gelderland (Veluwe), Drenthe, Noord Brabant en Zuid Limburg gedeeld. De brochure is bedoeld voor iedereen die betrokken is bij de uitwerking en uitvoering van beekbodemverhoging: water- en terreinbeheerders, projectleiders, adviseurs (hydrologen, ecologen) projectleiders en aannemers.

Zandsuppletie in de Tongelreep, foto: RV



Inleiding

Veel beken zijn de afgelopen decennia aangepast om overtollig water zo snel mogelijk af te voeren omwille van landbouwkundige ontwatering, bebouwing, infrastructuur en industrie. Bij veel neerslag stroomt een enorme hoeveelheid water met hoge snelheid door de beek, wat nog eens wordt versterkt doordat de van nature kronkelende beken op veel plaatsen zijn rechtgetrokken. Ook zijn bovenloopjes uitgegraven op plaatsen waar voorheen een doorstroommoeras aanwezig was. De beken slijten hierdoor steeds verder in, wat resulteert in diep in het landschap liggende, drainerende beken met steile oevers en een kaal gespoelde bedding.



Een oplossing ligt voor de hand: de beek ondieper maken, waardoor de beek bij veel waterafvoer de breedte van het dal weer kan gebruiken en daarmee het water trager stroomt. Beheerders zijn dan ook gaan experimenteren met manieren om de beekbodems op te hogen met hout, grind of zand. Hierdoor stroomt het water niet alleen langzamer, maar ontstaat bovendien variatie in het beekmilieu met plekken waar het water stil staat en waar stroomversnellingen zijn. Op de stromingsluwe plekken bezinkt slib, terwijl grind wordt vrijgespoeld waar het water hard stroomt. Door dit proces ontstaat meer verschil in habitattypen en daarmee variatie in voedsel, meer beschutting, en geschikte paaipplaatsen voor vissen zoals de beekprik. Ook de flora en fauna op het land profiteren van de vernatting van het beekdal, dat door de drainerende werking van de diepliggende beken vaak ernstig verdroogd was.

Dit soort projecten leveren vaak mooie resultaten op, maar helaas zijn er ook voorbeelden waarbij het ingebrachte materiaal meteen weer wegspoelde bij de eerste forse regenbui. Er is inmiddels veel wetenschappelijke kennis en praktische informatie voorhanden voor beheerders om te komen tot een effectieve aanpak. Deze brochure is bedoeld als hulp bij het voorbereiden en uitvoeren van projecten om het beekstelsel te verbeteren of te herstellen met een mooie biodiverse beek en een vernat beekdal als resultaat. Het is een aanzet tot duurzaam systeemherstel van beekdalen, waar uiteindelijk niet alleen de natuur baat bij heeft, maar ook de landbouw. Ook deze sector heeft immers baat bij een meer klimaatrobuust watersysteem dat tegen een stootje kan.



Referentiebeeld

In de ongestoorde, natuurlijke situatie ontsprongen de meeste Nederlandse beken in een doorstrommoeras, waar vaak sprake was van veenvorming. Beekloopjes waren niet duidelijk te herkennen op deze natte plekken. Een diffuse, beekdalbrede afvoer was de regel en kleine oppervlakkige stroompjes een uitzondering. Dat gold zeker in de winter bij een grotere uittreding van grondwater.

Een doorstrommoeras in het dal van de Semois (België), foto: RVD



Op de natte plekken domineerden moerasvegetaties van grote en kleine zeggen. Op de iets hogere delen stond elzen- en wilgenbroekbos. Verder benedenstrooms, zeker waar het verhang groter was, kreeg het water voldoende kracht om een continue beekloop in stand te houden. Deze bovenloop zette zich voort in een midden- en benedenloop met toenemende afvoer en dimensies. Hierbij zorgde de wisselwerking tussen de stroming, bomen op de oevers, dood hout in de beek en slecht erodeerbare bodemlagen (oer, leem, veen) voor een meanderende loop. Langs de loop kwamen moeraszones voor op plekken met uittredend grondwater uit de dalflanken. Langs de midden- en benedenloop kwamen overstromingsvlaktes voor. De beek had een relatief vlak en ondiep dwarsprofiel. Dit profiel vormt de basis voor graduele land-water-overgangen, die voor de biodiversiteit van beek en beekdal essentiële gradiënten in milieufactoren bevatten.

Ondiep breed profiel van de Leuvenumse beek na zandsuppletie, foto: RV



Voorbeelden van doorstrommoerassen in Nederland en België

In het stroomgebied van de Semois (Wallonië) komen op diverse plaatsen nog veenvormende kalkmoerassen voor waar permanent water aan maaiveld uittreedt. De enige ontwatering in deze beekdalen bestaat uit afvoer over maaiveld richting een ondiepe beek van maximaal enkele decimeters diep. Ook in Nederland is een aantal goede voorbeelden van herstelde doorstrommoerassen te vinden.

Het Wisselse veen op de flank – kwelhelling- van de Veluwe bij Epe is een goed voorbeeld van een hersteld doorstromveen of -moeras. Tapijten van veenmossen wisselen af met riet- en galigaanvegetaties, kleine zeggen-vegetaties met paddenrus en armbloemige waterbies. Er komen ook pioniervegetaties voor met draadgentiaan, borstelbies en beekstaartjesmos.

Het brongebied van de Mosbeek in Twente heeft ook de allure van een doorstromveen, waar de beekbodemverhoging het gebied hydrologisch en ecologisch een sterke impuls heeft gegeven.

Diffuse afvoer over maaiveld met veenvorming in het Wisselse veen
foto: RVD



Brongebied van de Mosbeek
foto: FE



Uittredend grondwater in het Wisselse veen, foto: FE



Kalkmoeras in het dal van de Semois (Wallonië) met veenvorming en permanent uittredend grondwater, foto: RVD

Waarom treedt beekbodemerisatie op?

Beken zijn van nature ondiep en breed. In de afgelopen decennia zijn beken als gevolg van menselijk ingrijpen vaak diep ingesneden in het landschap door beekbodemerisatie. Voor het ontwerp en uitvoering van maatregelen is het belangrijk om inzicht te krijgen in de oorzaken, achterliggende processen en de gevolgen van beekbodemerisatie. Alleen dan kunnen maatregelen effectief worden ontworpen en uitgevoerd.

Intensieve drainage zorgt voor versnelde afvoer in het stroomgebied van de Springendalse beek (Nutterse veld), foto: RVD



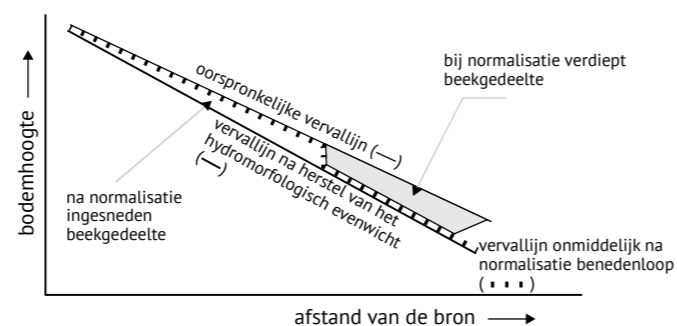
De afgelopen decennia zijn veel beken ingrijpend veranderd als gevolg van menselijk ingrijpen:

- Aanleg van sloten en drainage (afname drainageweerstand).
- Normalisatie (verdiepen, verbreden) van beken, waardoor de verhanglijn verandert en de beek een nieuw evenwicht zoekt.
- Intensivering van het landgebruik, met als gevolg verdichting van de bodem en afname van de ruwheid van het maaiveld. Daardoor neemt de oppervlakkige afstroming toe, ten koste van infiltratie van water naar het grondwater.
- Toename van verhard oppervlak, waardoor meer water oppervlakkig afstroomt.
- Afname van geïsoleerde laagtes waarin water kan infiltreren naar het grondwater en niet via oppervlakkige afstroming of sloten richting de beek kan stromen.
- Intensief onderhoud, zoals het verwijderen van begroeiing, takken en blad in de beek. Hierdoor neemt de stromingsweerstand af en gaat het water in de beek sneller stromen.
- Verwijdering van sediment en plantenwortels bij intensiever onderhoud in het najaar, waardoor de blootgelegde zandige beekbodem kwetsbaarder wordt voor erosie.
- Het veranderend klimaat zorgt voor een toename van intensieve buien in de zomer en voor winters met veel neerslag.

Al deze ingrepen met bijbehorende effecten hebben tezamen geleid tot diep ingesneden beken. Wanneer een beek zich dieper gaat insnijden in het landschap, is dit meestal het begin van een vicieuze cirkel. Bij hogere afvoeren kan het stijgende water in de diep ingesneden beek niet meer de breedte opzoeken. Al het water concentreert zich in de loop zelf. Daarmee neemt de stroomsnelheid toe en zal het water de beekbodem en de oevers eroderen. De beekbodem slijt vervolgens steeds verder uit en kan bij hogere stroomsnelheden alleen water afvoeren door nog sneller te gaan stromen. De beek is hierbij continu op zoek naar een evenwicht met de verhanglijn en blijft zich insnijden totdat het evenwicht bereikt is. De mate waarin dit gebeurt, varieert van enkele decimeters tot meters. In bijvoorbeeld de Springendalse beek in Twente zijn trajecten tussen 1975 en 2000 tot 2 meter diep ingesneden. Een stelregel is dat grootschalige beekbodemosie vaak

optreedt bij stroomsnelheden hoger dan 0,5-1 m/s. Hoe hoog de stroomsnelheid is waarbij onacceptabele erosie van de beekbodem ontstaat, is mede afhankelijk van de erodeerbaarheid van de beekbodem en oevers. Zand erodeert gemakkelijker dan klei, en veen is vaak nog weer gevoeliger voor erosie. Bij zand is de erodeerbaarheid afhankelijk van de korrelgrootte. Fijn zand komt bijvoorbeeld al in beweging bij lage stroomsnelheden (< 0,1 m/s). Organische stof in de bodem, oeverplanten en boomwortels maken de oevers stabiel, terwijl uittredend grondwater en betreding door vee de oevers instabiel maken en erosie juist bevordert.

Naast erosie van de beekbodem door piekafvoeren vanuit bovenstroomse delen, kan erosie van beekbodem ook optreden in stroomopwaartse richting. Wanneer de bodem van een benedenstrooms beektraject actief verlaagd wordt, bijvoorbeeld bij herinrichting of tijdens intensief onderhoud, dan treedt in bovenstroomse richting - waar geen werkzaamheden zijn uitgevoerd - erosie op doordat de beek op zoek gaat naar een nieuw evenwicht.



Figuur: Erosie in bovenstroomse richting door actieve verdieping de beek (bron: Alterra-rapport 1075)

In hellende gebieden speelt oppervlakkige afstroming een belangrijke rol bij het ontstaan van piekafvoeren. Metingen in het stroomgebied van de Springendalse beek in Twente toonden aan dat de afvoer over maaiveld tijdens piekafvoeren meer dan 40 procent bedroeg. In de zomer wordt oppervlakkige afstroming vooral veroorzaakt door intensieve buien (>3 mm/uur) waarbij



Intensivering van landgebruik en ontwatering leiden tot toename van piekafvoeren. Foto links: RVD, foto midden en rechts: FE

de infiltratiecapaciteit (3-10 mm/uur) van de bodem wordt overschreden. Intensieve buien komen gewoonlijk in de zomer vaker voor dan in de winter. De verwachting is dat deze intensieve buien onder invloed van klimaatverandering toe zullen nemen. In de winter treedt oppervlakkige afstroming vooral op na langdurige regenperiodes met grote hoeveelheden neerslag per dag. Als gevolg daarvan stijgt de grondwaterstand en neemt de bergingscapaciteit van de bodem af. Oppervlakkige afstroming kan ook ontstaan

wanneer de bodem bevroren is in combinatie met het snel smelten van een sneeuwdek.

Tot slot kunnen ook rioolwateroverstorten afvoerpieken en erosie veroorzaken. Dat gebeurt op het moment dat het rioolstelsel grote hoeveelheden water te verwerken krijgt, bijvoorbeeld tijdens piekbuien. Zeker in hellende gebieden kan dit tot sterke insnijding leiden.

Foto: RVD



Effecten van beekbodemerrosie

Wanneer een beek zich steeds dieper inslijt in het landschap, heeft dat effect op de natuurwaarden in de beek en het beekdal. Door de hoge stroomsnelheden spoelen structuren op de beekbodem weg, zoals bladpakketten en takken, of worden deze met zand bedekt. Ook de macrofauna die van deze structuren afhankelijk is, spoelt weg of verliest het habitat waar ze afhankelijk van is voor voedsel, eiafzet of beschutting.

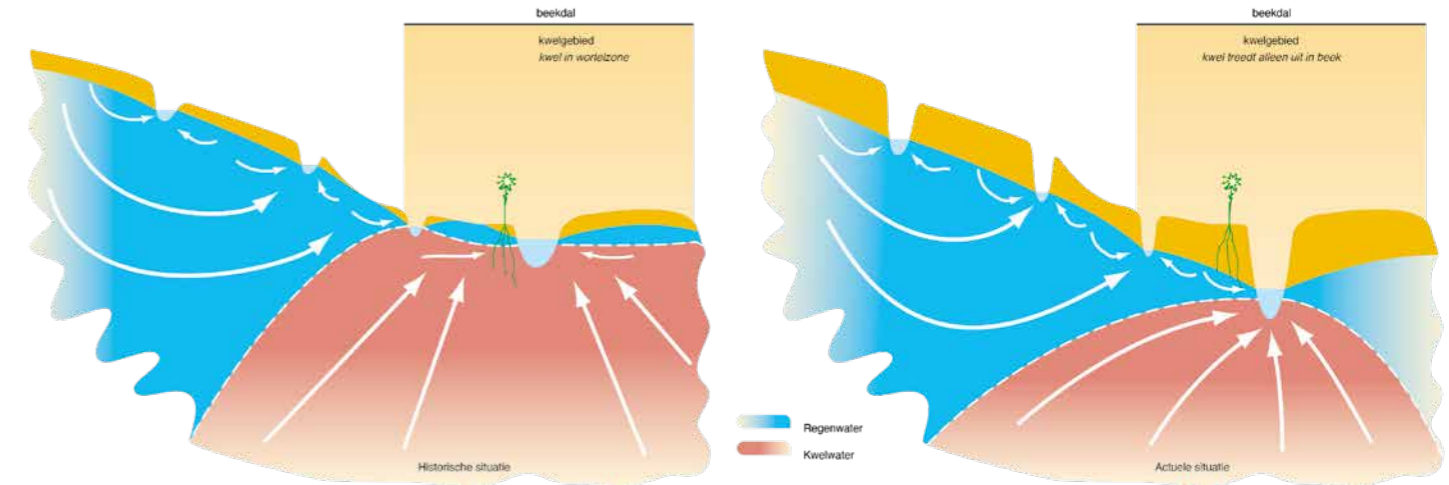
Diep ingesneden Springendalse beek voor de beekbodemerhoging. Kwel treedt uit op de lage beekoever waar het Paarbladig goudveil groeit, terwijl de soort normaal in het beekdal staat. Foto: RVD



In het beekdal zelf daalt de grondwaterstand en neemt de invloed van regenwater in de wortelzone toe ten koste van uittredend grondwater (kwel). Dit grondwater zal nu alleen nog maar in de diepe beek zelf uittreden. Daardoor treedt naast verdroging ook verzuring op en verarmen karakteristieke kwelwaterafhankelijke trilvenen, kalkmoerassen, blauwgraslanden, dotterbloemhooilanden, elzenbroek- en vogelkers-essenbossen. Deze verdroging is een gevolg van de afname van grondwaterinvloed en leidt tot verzuring door een toename van regenwaterinvloed. Dit gaat gepaard met de afbraak van de veenbodem door oxidatie. Hierbij komt stikstof vrij en treedt verzuuring op van de vegetatie met rietgras, gewone

braam en grote brandnetel. Door het verdwijnen van de organische bodem, komen bomen en struiken op stelten te staan.

Door het dieper insnijden van de beek verdwijnen karakteristieke overgangen tussen land en water. Juist de graduele overgangen tussen beek en beekdal zorgen voor afwisseling tussen droog en nat, voedselarm en voedselrijk en zure en gebufferde omstandigheden. Deze afwisseling in milieuomstandigheden zorgt voor een grote habitatheterogeniteit en biedt daarmee ruimte voor een hoge biodiversiteit.



Als gevolg van de insnijding treedt verdroging en verzuring op in het beekdal (bron: Wateratlas Twente).

Vorbereiding, ontwerp, uitvoering

Een ogenschijnlijk eenvoudige manier om het probleem van de beekinsnijdingen op te lossen, is het aanvullen van het ingesneden beekprofiel met materiaal totdat deze weer op de oorspronkelijke hoogte ligt: suppletie. Te denken valt aan het gebruiken van zand, grind en hout. Echter, aan deze maatregel zit wel een aantal haken en ogen.

Foto: RVD



Het ophogen van een beekbodem zonder goede voorbereiding en zonder het aanpakken van de oorzaken, kan er zomaar toe leiden dat na enkele piekafvoeren al het ingebrachte materiaal naar benedenstrooms verdwenen is. Om dit te voorkomen, is het nodig het gehele intrekgebied te beschouwen, waarbij maatregelen om piekafvoeren te verminderen integraal worden meegenomen. Het is goed om eerst een aantal denkstappen te doorlopen voorafgaand aan de uitvoering. Deze stappen worden in dit hoofdstuk doorlopen.

5.1 Vorbereiding

1 Begin bovenstrooms

Het meest kwetsbare deel van het beekstelsel ligt bovenstrooms en heeft in de aanpak van de voortschrijdende erosie prioriteit, zowel in de beek zelf als in het omliggende landschap.

2 Maak een analyse van het gehele beekdal

In de voorbereiding van een project is het belangrijk om eerst inzicht te hebben in de oorzaken van bodemerrosie. Daarvoor is het van belang om te bepalen in welke landschapstype een beek ligt. Gaat het om een sterk hellend of relatief vlak gebied? In stuwwal- en heuvellandschap komen vanwege het grotere verhang van nature hogere stroomsnelheden voor dan in vlakke beekdal- en zandlandschappen. Om inzicht te krijgen in de afvoerdynamiek in een beek zijn tijdreeksen van afvoermetingen van belang. Deze reeksen moeten lang genoeg zijn om een goed beeld te kunnen krijgen van de afvoerpieken in het systeem. Het inschatten van afvoeren tijdens piekafvoeren kan eventueel op basis van andere methoden, zoals modelmatige berekeningen. Dit leidt, zeker in hellende gebieden met veel oppervlakkige afstroming, vaak tot een enorme onderschatting van de werkelijke afvoerdynamiek tijdens

hoge afvoeren. Juist deze piekafvoeren zijn vaak verantwoordelijk voor de beekbodemerrosie. Daarnaast is het belangrijk om op basis van hoogtemetingen de actuele verhanglijnen en dwarsprofielen van de beek en het aangrenzende beekdal in beeld te brengen.

De ruimtelijke invloed van een beek op de grondwaterstand en kwel naar maaiveld in het beekdal is afhankelijk van de lokale omstandigheden waarbij het drainageniveau van het beek en de lokale geohydrologische opbouw een belangrijke rol spelen. Het meten van freatische grondwaterstand en stijghoogte in raaien dwars op het beekdal kan hierin inzicht verschaffen.

In situaties waar beken gevoelig zijn voor droogval, ligt de oorzaak van verminderde watervoering vaak niet in het beekdal zelf maar wordt deze veroorzaakt door versnelde afvoer van (grond)water in het hele stroomgebied. In lokale systemen komt droogval van nature voor. Voor het verbeteren van de watervoerendheid van een beek is vaak een aanpak op een grotere landschappelijke schaal (stroomgebied) noodzakelijk.

3 Pak de oorzaak aan

Zonder een effectieve aanpak van de oorzaak van de insnijding, heeft een ophoging weinig zin. Het is daarom noodzakelijk om in de bovenloopssystemen zoveel mogelijk water vast te houden en vertraagd af te voeren. Denk daarbij aan het verwijderen van sloten en buisdrains, verruwing van de vegetatie (grasland of bos in plaats van akker) en het bergen van water op maaiveld in de laagste delen van het landschap. In hellende gebieden is het van belang om wegen en paden met de hoogtelijnen van het landschap mee te laten lopen in plaats van wegen en paden dwars op de hoogtetradiënt aan te leggen. Deze fungeren als afvoerkanalen wanneer afvoer over maaiveld optreedt. Neem maatregelen om de afvoer van oppervlaktewater op wegen en paden radiaal op de hoogtelijnen af te leiden en laat het infiltreren in aangrenzend infiltratiegebied.

4 Inventariseer de kenmerkende soorten (bestaande natuur)

Stel in de voorbereiding vast welke bijzondere natuurwaarden in de beek en het aangrenzende beekdal voorkomen. Maak vervolgens een risico-inschatting of soorten door de ingreep verdwijnen, zoals

macrofaunasoorten (ongewervelde waterdieren, zoals platwormen, vlokreeften, kokerjuffers en steenvliegen) of plantensoorten die door de beekinsnijding tot laag in de oeverzone zijn afgezaakt. In de beek gaat het specifiek om de kenmerkende macrofaunasoorten met een beperkte verspreiding. Om deze te identificeren zijn voor de verschillende beektypen lijsten opgesteld die als referentie kunnen dienen en is er een regionale zeldzaamheidslijst beschikbaar. Als de beekbodem diep is ingesneden, wil dit niet zeggen dat er geen bijzondere macrofauna meer kan voorkomen. Zolang de vereiste substraattypen, stroomsnelheid, watervoerendheid etc. aanwezig zijn, kan de beek kenmerkende soorten bevatten. Vaak zijn deze populaties klein en daarmee kwetsbaar voor verstoringen. Soms heeft de insnijding zelfs geleid tot het meer beschikbaar komen van bepaalde substraten en de bijhorende fauna, zoals grindbodems. Dit kan leiden tot een dilemma: kiezen voor behoud van deze soorten of kiezen voor systeemherstel? Een compleet beeld van alle belangrijke habitats en kenmerkende soorten in beek en beekdal is dus een belangrijk uitgangspunt voordat er maatregelen worden genomen.

5 Bescherm bestaande natuur

Door in kaart te brengen wat waar aanwezig is, zijn refugia aan te wijzen waar geen maatregelen worden genomen, zodat deze plekken als bron van kolonisatie kunnen dienen. Populaties van zeldzame of anderszins bijzondere soorten kunnen zo veiliggesteld worden. Het gaat om trajecten met vergelijkbare milieuomstandigheden (stroming, dimensies, substraat etc.) waar geen suppletie plaatsvindt en ook niet door de suppletie worden verstoord. Bovenstroomse delen van een beekstelsel en zijbeken kunnen als refugia dienen.

6 Voorkom schade bij uitvoering

Om schade tijdens de uitvoering te voorkomen, is het goed om bij de voorbereiding al aandacht te geven aan de aanvoerroutes van zand en materieel en de ligging van zanddepots omdat veelal sprake is van kwetsbare bodems. Laat de voorbereider en de uitvoerder in deze fase al meedenken over het uitvoeringstraject. Denk daarbij aan een marktverkenning en het opzetten van een bouwteam.

5.2 Ontwerp en uitvoering

1 Breng afvoer en sediment in beeld

Als je van verschillende afvoersituaties de stroomsnelheden weet, wordt inzichtelijk op welke trajecten en bij welke afvoersituatie ongewenste hoge stroomsnelheden en daardoor bodemerrosie plaatsvindt. Dat kan met een oppervlaktewatermodel, maar ook met behulp van eenvoudige analytische formules. Het voordeel van een meer uitgebreid oppervlaktewatermodel, waarin ook relevante processen zoals afvoer over maaiveld worden gekalibreerd, is dat er een beter inzicht ontstaat in de oorzaken van de piekafvoeren. Het voordeel van een analytische aanpak is dat deze eenvoudig, snel en goedkoop kan worden toegepast. In het 'Handboek Geomorfologisch beekherstel' en het rapport 'Beekdalbreed hermeanderen', beide van Stowa, zijn diverse formules en rekensheets opgenomen om te rekenen aan het sedimenttransport van een beek.

2 Ontwerp verhanglijn

Nu is het zaak om een nieuwe verhanglijn te ontwerpen. Door deze parallel te laten lopen met het verhang van het aangrenzende beekdal en deze zo ondiep mogelijk onder maaiveld te positioneren, kan de beek na verondieping bij piekafvoeren de breedte in en het gehele beekdal inrunderen. Door de inundatie nemen de stroomsnelheden bij piekafvoeren af. Voor een aantal Twentse stuwwalbekken zijn berekeningen uitgevoerd en daaruit bleek dat de stroomsnelheden door het aanpassen van de verhanglijn en het vergroten van de bodembreedte na verondieping tijdens een piekafvoer (omvang eens per 10 jaar) af kunnen nemen met 40-100 cm/s in de delen die voor de verondieping een steil verhang hadden.

3 Kies het juiste materiaal

Om er voor te zorgen dat het ingebrachte materiaal na de suppletie blijft liggen, is het belangrijk om tijdens de ontwerpfase te bepalen wat het juiste materiaal is om de beekbodem mee op te hogen. In principe is het beste om gebruik te maken van materiaal dat vergelijkbaar is met de bodemopbouw direct naast de beek om zo het gebiedseigen karakter van het beekstelsel te behouden. Door erosie- en sedimentatieprocessen ontstaat een nieuwe verdeling

van het beddingmateriaal met een vergelijkbare samenstelling als de uitgangssituatie.

Voor het bepalen van de samenstelling van het materiaal waarmee beekbodem verhoogd moet worden, is op basis van berekeningen een opzoektabel opgesteld. Hier staat de relatie tussen stroomsnelheid en de korrelgrootte van het toe te passen materiaal. Bij voorkeur gebruik je lokaal materiaal dat al bestaat uit een mengsel van verschillende korrelgroottes. Als het materiaal uit een zandwinning komt en op bestelling kan worden gemengd, zorg er dan voor dat het de natuurlijke lokale variatie in korrelgroottes benadert. Een mengsel van verschillende korrelgroottes zand is namelijk beter bestand tegen erosie dan alleen maar zand van een sortering. Bij een mengsel grijpen de korrels beter in elkaar. Bij lage stroomsnelheden en een klein verhang volstaat zand, in sterk hellende gebieden met hoge stroomsnelheden moet zand worden gecombineerd met brede sortering van grind om de beekbodem erosiebestendig te maken.

4 Maak drempels waar nodig

Op plekken waar door sprongen of drempels in de terreinhelling het risico op erosie groot is, is het overwegen waard om de beekbodem te fixeren met drempels. Werk hierbij bij voorkeur niet met harde constructies zoals damwanden of stortsteen in beton omdat deze constructies achterloops en onderloops worden in situaties met hoge stroomsnelheden en/of kwel. Het is beter om drempels aan te leggen die bestaan uit zwaardere materiaal zoals grind of zwaardere houtpakketten die door hun gewicht beter bestand zijn tegen erosie. Het voordeel daarvan is dat grind in situaties met een sterke kweldruk de grondwaterstroming niet blokkeert en het aangebrachte materiaal beter blijft liggen. Houtpakketten zorgen voor stromingsvariatie, vertragen de stroomsnelheid, zorgen voor habitatvariatie en houden daardoor het ingebrachte materiaal op zijn plek. Het is belangrijk om houtpakketten niet dwars op de beek maar in de lengterichting aan te leggen. Meer praktische informatie voor ontwerp en uitvoering is terug te vinden in het protocol 'Inbrengen dood hout in de beek'.

5 Flora

Planten kunnen van de lage oever naar de hoge oever worden verplaatst en de vernatte plekken zeer snel koloniseren. Dat bleek bijvoorbeeld bij paarbladig goudveil in de Mosbeek, Springendalse beek en Weerselerbeek in Twente. Voor het verplaatsen van planten is een riek het beste, omdat je dan geen wortels afsteekt, maar de kluit in z'n geheel kunt uitnemen. Eventueel kunnen de planten tijdelijk worden ingegraven om ze te kunnen bewaren tot na de uitvoering van de werkzaamheden.

6 Beekfauna

Vissen kunnen worden afgevangen voor de ingreep om later te worden herplaatst. De dieren kunnen tijdelijk in kunststof

kuipen worden geplaatst of direct teruggezet in trajecten die niet behandeld worden of al behandeld zijn. Voor de macrofauna kan beekbodemtransplantatie een optie zijn. Hierbij wordt voorafgaand aan de ingreep de toplaag (bovenste centimeters) van de bedding voorzichtig uit de beek geschept. Naast een direct voordeel voor de overleving van de dieren heeft het transplanteren van de bodem ook het voordeel dat de ontwikkeling van microhabitats en daarmee habitatheterogeniteit sneller verloopt, omdat materiaal als stenen, takjes en bladeren met daarop al aangroei (biofilm) direct teruggebracht wordt in de beek. Deze gemeenschap van onder andere algen, bacteriën en schimmels die op het materiaal groeit, vormt een belangrijke voedselbron voor de macrofauna. Daarnaast zorgt het materiaal voor voldoende schuilmogelijkheden om te



*Zanddepot langs de Snoeyinksbeek en beek direct benedenstrooms na zandsuppletie. Hetzelfde traject een jaar na herstel met in het beekdal en op het vers gesuppleerde zand uitbereiding van onder andere, slanke sleutelbloem, kensoorten van het Eiken Haagbeukenbos.
Foto's: RVD*

Drempel van stortsteen in beton in een beek met een sterk verhang nabij Ootmarsum tijdens een piekafvoer en daarna. Harde constructies werken meestal niet omdat ze snel achter- en onderloops worden.
Foto's: RVD



ontkomen aan predatoren. De eerste stap is vaak het afschrappen van de toplaag van de bestaande, te diep liggende beekbodem en deze tijdelijk opslaan. Dit is vooral van belang bij het gebruik van de snelle uitvoeringstechnieken waarbij de beek in korte tijd wordt verhoogd. Dit materiaal wordt tijdens de werkzaamheden verspreid uitgestort in grote bakken of op landbouwplastic en op de kant bewaard. Het is essentieel dat het substraat vochtig blijft en in maximaal enkele centimeters water staat. Het dieper onder water zetten van het substraat is niet nodig en vaak zelfs schadelijk, omdat dit het risico op slechte zuurstofomstandigheden en daardoor sterfte vergroot. Het is belangrijk dat de opslag kortdurend is (uren) en de temperatuur niet te hoog oploopt (in de schaduw bewaren, en dus niet op een hete zomerdag uitvoeren). Laat het materiaal niet langer dan drie dagen liggen. Beter is om het dezelfde dag nog terug te zetten. Uiteraard moeten wel eerst de watervoerendheid en stroomsnelheid hersteld zijn voor het terugplaatsen.

Materiaal	Fractie [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₁₅₀ [mm]	U _{max} [m/s]	Laagdikte [cm]
Grind	4-16	6,0-9,8	6,1	0,47	5
	4-32	6,6-19	6,8	0,49	5
	8-16	9,2-10,8	9,5	0,58	5
	16-32	18,4-24,2	20,2	0,66	7,5
Breuksteen	30/60	40-50	37,8	1,25	7,5
	45/125	63-90	64	1,63	10
	63/180	90-125	90	1,92	10

Tabel: Maximaal toelaatbare verticaal gemiddelde stroomsnelheid (U_{max}) bij gegeven fracties (Tijhuis, 2020).

Grondsoort	Maximum toelaatbare gemiddelde stroomsnelheid [m/s]
Samenhangende zware grond (klei, leem, löss)	0,60-0,80
Zavel, samenhangende zandgrond en vast veen	0,30-0,60
Grof zand	0,20-0,50
Fijn zand en slap veen	0,15-0,30

Tabel: Maximum toelaatbare gemiddelde stroomsnelheden bij verschillende grondsoorten op basis van het cultuurtechnisch vademecum (Tijhuis, 2020).

Opvullen van de verdiepte beek met zand van dezelfde korrelgrootte als het aangrenzende maaiveld van het beekdal, foto: FE





5.3 Techniek van inbrengen materiaal

Er zijn verschillende technieken om zandsuppleties uit te voeren. Welke techniek het meest geschikt is, is afhankelijk van de lokale context.

1 Zand in depots

Als de noodzakelijke beekbodemverhoging beperkt kan blijven tot enkele decimeters, dan zijn zanddepots in combinatie met takkendammen/vlechtwerken om zand in te vangen vaak voldoende. Door aan de rand van een beek een depot aan te leggen waarbij de teen van het depot in het water ligt, zorgt het beekwater vervolgens voor verplaatsing van het zand. Deze methode werkt alleen bij hoge stroomsnelheden in hellende gebieden. In beken met weinig verhang is het effectiever om direct het zand in de beek te leggen. In beide gevallen kan zo nodig het zand worden aangevuld en opnieuw richting de beek worden geschoven of in de beek worden gelegd. Dat zorgt voor een fasering in ruimte en tijd. Ervaring (Snoeyinksbeek, Springendalse beek, Hazelbekke, Leuvenumse beek, Tongelreep) leert dat op deze manier een beek binnen enkele maanden op de gewenste hoogte ligt afhankelijk van de lengte

van het op te hogen traject, de stroomsnelheid van het water en de snelheid waarmee zand wordt aangevoerd in de depots.

2 Zand via buis aanvoeren

Een andere methode is een mengsel van zand en water verpompen via een buis naar de gewenste plek. Dit heeft als voordeel dat vanaf een hoger gelegen depotlocatie het zand in de beek kan worden gebracht waarbij geen zwaar materieel nodig is in het beekdal. Deze techniek is bijvoorbeeld goed toepasbaar als er brede veenpakketten naast de beek liggen. De techniek is succesvol toegepast in de Drentse beken Anloërdiepje, Zeegserloopje en Taarlosche Diep.

3 In een keer op hoogte brengen

Wanneer een beek heel diep is ingesleten, is het vaak beter om in één keer de beek op de gewenste hoogte te brengen. Er moeten dan wel voldoende refugia aanwezig zijn voor kwetsbare soorten, waarbij bijvoorbeeld niet opgehoogde bovenstroomse trajecten kunnen worden gebruikt. Dit zorgt ervoor dat er na de ingreep snel kolonisatie optreedt en de levensgemeenschap zich kan herstellen.

*Op gedeeltes met een steil verhang en een hoge kweldruk zijn drempels van zwaarder materiaal, hier grind, toegepast om erosie te voorkomen (brongebied dal van de Mosbeek).
Foto's: FE*



Voorbeelden van kleinschalig materieel en uitvoering middels handkracht in het brongebied van de Mosbeek (foto onder) en op landgoed Egheria (foto boven). Foto's: FE



4 Handmatig werken

Op kleinschalige, kwetsbare locaties zoals bronnen of natte beekdalen met veel kwel, is zandsuppletie vaak minder geschikt. Het is dan beter om handmatig de beek op te vullen of te werken met aangepast materieel.

5 Maaiveldhoogte

Om de kwel in het beekdal zelf te herstellen, dient een beek na verondieping tot hooguit enkele decimeters onder het aangrenzend laagste maaiveld te worden verondiept. Het is daarbij van belang om het afvoerniveau van het water niet boven de potentiële stijghoogte van het grondwater in het beekdal te leggen, omdat anders de kwel naar het beekdal en de watervoerendheid van de beek negatief worden beïnvloed.

6 Kleinschalig waar het moet

Bij de uitvoering geldt de stelregel: Machinaal waar het kan, handkracht waar het moet. Buiten het beekdal is werken met groot materieel mogelijk maar wel altijd op rijplaten om bodemverdichting en structuurbederf te voorkomen. In het dal is vanwege de kwetsbare bodem de inzet van miniapparatuur een must. Denk daarbij aan handzame kunststofrijplaten voor gemechaniseerde kruiwagens en versnipperaars en voor het echte handwerk aan steigerplanken, kruiwagens en scheppen.

7 De juiste timing

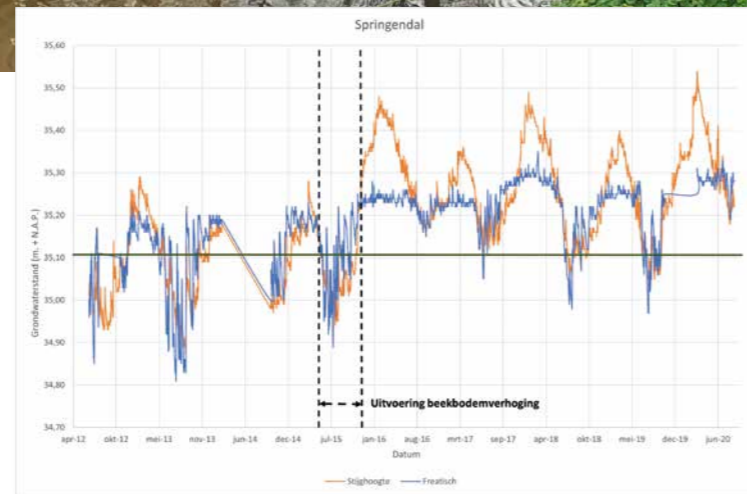
Om substraatdiversificatie te versnellen na de suppletie, is het goed om rekening te houden met de timing van de werkzaamheden (voor de bladval in de herfst afronden) en kan actief structuur worden aangebracht in de vorm van dood hout, zodat ingevallen blad kan worden ingevangen.

Grind, zand en organisch materiaal inclusief macrofauna is van de beekbodem geschraapt en op de verondiepte waterverzadigde bodem gelegd (landgoed Egheria bron Weerseleerbeek). Foto: FE



Effecten van het ophogen van de beekbodem

Wanneer de beekbodem voldoende wordt opgehoogd, worden beek en beekdal weer met elkaar verbonden. De oeverzone zal natter worden en er ontstaat een geleidelijke nat-droog-gradiënt. Ook kan de beek weer buiten haar oevers treden bij hoge waterstanden. Deze vernatting werkt positief door op de flora en fauna van oevers en moerassen omdat er voor deze soorten veel meer geschikt habitat ontstaat.



Grafiek: Effect van beekbodemverhoging op de freatische grondwaterstand (rode lijn) en stijghoogte (groene en zwarte lijn) in het dal van de Springendalse beek. Door beekbodemverhoging zakt de freatische grondwaterstand minder diep weg in droge perioden en is infiltratie omgeslagen in kwel doordat de stijghoogte na verondieping boven maaiveld komt waardoor kwel kan uittreden aan maaiveld.

Hieronder bespreken we enkele effecten in meer detail.

1 Grondwaterstand stabiel

In gebieden met een hoge kwelflux zullen de grondwaterstanden na verondieping stabiel worden en zal de infiltratie omslaan in kwel. Kwelwater komt dan in het beekdal uit de grond in plaats van in de beekbodem. Daarnaast blijkt dat de grondwaterstanden, zelfs tijdens extreme droogteperioden, veel minder diep onder maaiveld wegzakken dan voor uitvoering van de maatregelen. In verruigde elzenbroek-, elzenbronbossen en natte schraallanden trad hierdoor binnen enkele jaren in Twente op grote schaal spectaculair herstel op van de vegetatie.

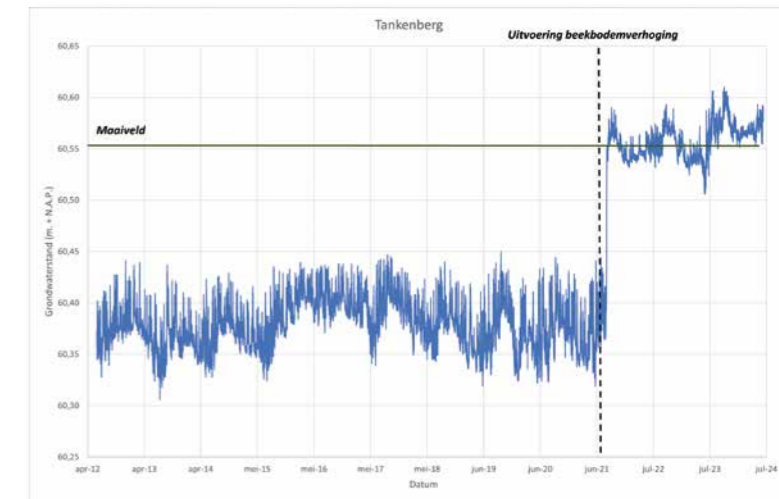
2 Beekfauna herstelt zich

Onderzoek in de Leuvenumse beek laat zien dat ondanks de negatieve effecten direct na uitvoering, de effecten al op korte termijn positief zijn.

Vier maanden na zandsuppletie was de soortenrijkdom en diversiteit van de haften-, steenvliegen- en kokerjuffersoorten volledig hersteld. Daarnaast was het aantal stromingsminnende soorten in de gesuppleerde trajecten toegenomen. Ook de visfauna herstelde zich snel. Op het moment dat de eerste bladpakketten zich vormden, werden soorten als biermpje en rivierdonderpad gezien. Na een aantal jaren nam de beekprik toe, mogelijk gefaciliteerd door het ontstaan van grindbedden van het grind dat meegekomen was met het suppletiezand. Na een aantal jaren lieten allerlei beekinsecten een toename zien. Zo groeiden de populaties van de zeldzame waterwants *Sigara hellensii*, de bruintiphacht *Leptophlebia marginata* en de weidebeekjuffer *Calopteryx splendens*. De eerste twee soorten profiteerden van het ontstaan van overstromingsvlaktes omdat de opgehoogde beek makkelijker buiten haar oevers kon treden. Vergelijkbare beeksystemen kunnen een vergelijkbare ontwikkeling doormaken. Systemen echter die flink onderuit zijn gegaan door verdroging, droogte of (grond)wateronttrekkingen zijn minder kansrijk of is er een veel grotere inspanning nodig om tot resultaat te komen. In dit soort systemen is een aanpak op schaal van een stroomgebied nodig waarbij het herstel van de hydrologische situatie maatregelen vergt in beek, beekdal en infiltratiegebied. Denk daarbij aan de aanpak van ontwatering, onttrekkingen en de invloed van landgebruik (verdamping).

Ook uit de monitoring van de macrofauna tot aan 2022 van het in 2018 herstelde brongebied van de Mosbeek blijkt dat er geen kenmerkende soorten zijn verdwenen. Wel hebben de maatregelen in de gemonitorde herstelde delen lokaal impact gehad op de levensgemeenschap. Dit effect verschilde tussen de soorten. De brokkelworm (*Lumbricus variegatus*) is na herstel tijdelijk met hogere aantallen aangetroffen. Dit is echter een soort die verstoring aanduidt. Larven van de steltmug *Pseudolimnophila (Limoniidae)* lijken de jaren na de werkzaamheden te profiteren van de nieuwe omstandigheden. Ze komen met name voor in de met grondwater verzadigde bodem op plekken met uittredend kwel. Opvallend is dat larven van de beekoeverlibel (*Orthetrum coerulescens*) gedurende de eerste drie jaar na beekherstel niet in de monsters zijn aangetroffen. Ze werden ze in 2022 voor het eerst weer aangetroffen, mogelijk betreft het hier herkolonisatie na een kortdurende verdwijning door de impact van suppletie.

Grafiek: Effect beekbodemverhoging op de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in het elzenbronbos (Tankenberg). Na uitvoering bevindt de grondwaterstand zich binnen het optimale bereik.



Uittredend kwelwater aan maaiveld in het dal van de Mosbeek na beekbodemverhoging, foto: RVD

De bijzondere steenvlieg *Nemurella pictetii* is zowel voor als na herstel in ieder monitoringsjaar aangetroffen. Deze soort komt vooral in bronnen en bovenloopjes voor en heeft geen waarneembare last ondervonden van de herstelwerkzaamheden. Daarentegen hebben de herstelmaatregelen een duidelijke negatieve impact gehad op een aantal soorten kokerjuffers. Het duidelijkst is dit waarneembaar voor *Beraea maurus*, een kenmerkende soort van permanente bronnen. Na de herstelwerkzaamheden is de larve alleen nog in 2019 op de locatie aangetroffen. De soort is semivoltien, de ontwikkeling van de larve duurt langer dan een jaar. Larven die in nog in 2019 aangetroffen zijn, hebben de herstelwerkzaamheden dus mogelijk als larve overleefd. Nieuwe aanwas door eiafzettende imago's lijkt vooralsnog uit te zijn gebleven in de opgehoogde delen. Uit vervolgmonitoring zal moeten blijken of deze kwetsbare soort zich hier weer zal gaan vestigen. De soort komt namelijk elders langs de bovenloop van de Mosbeek nog wel voor. Samenvattend kan voor dit gebied worden gesteld dat de herstelde locaties op basis van de macrofauna ecologisch nog niet verbeterd zijn, ondanks de ogenschijnlijk gunstigere milieuomstandigheden die door de maatregelen zijn gecreëerd. Kolonisatie door kenmerkende soorten heeft mogelijk nog langer tijd nodig, maar de negatieve effecten op sommige soorten geeft tevens aan dat een grote zorgvuldigheid noodzakelijk blijft om de vaak complexe habitateisen van de macrofauna bij beekherstel te borgen.

3 Toename habitatdiversiteit

Na de suppletie worden de organische substraten, zoals bladpakketten en takken, vanzelf weer op natuurlijke wijze aangevuld. Dit proces zal sneller verlopen in bostrajecten dan in beken in een open landschap. De aanvoer van organisch materiaal is in een bos nu eenmaal groter en treedt vrijwel continu op. Door het afsterven van bomen langs de beek als gevolg van vernatting, neemt de vegetatie in de beek toe omdat meer licht het water kan bereiken. In de Leuvenumse beek namen hierdoor grote waterranonkel en kleine watereppe sterk toe. In het brongebied van de Weerselerbeek op de stuwwal van Oldenzaal stijgt het grondwater weer tot ver boven het maaiveld door de afkoppeling van een waterleiding en het opvullen van de waterput met grind. Door de bronbeek vervolgens via suppletie weer aan

maaiveld te leggen, is de overgang van bron en beek opnieuw een samenvloeiend geheel geworden met de habitatheterogeniteit die daarbij hoort. De permanent waterverzadigde bronzone heeft zijn natuurlijke omvang teruggekregen. Vanuit een aantal resterende moederplanten heeft het paarbladig goudveil zich massaal uitgezaaid en zwarte els en gewone es hebben zich voor eerst in tientallen jaren spontaan verjongd.

Het sterk verondiepen van de hoofdloop en de haarvaten van de Mosbeek heeft geleid tot herstel van het doorstroomveen. Het brongebied herbergt een unieke samenstelling van vegetatietypen, met een groot aantal soorten van de Rode Lijst, zoals gewoon vetblad, beenbreek en veenmosorchis. Dat komt doordat het door zowel sterke lokale kwel als regenwater wordt gevoed. De vegetaties zijn aangewezen als habitattypen Heischraal grasland (H6230), Vochtige heide (H4010A), Blauwgrasland (H6410), Alkalisch laagveen – 'kalkmoeras' (H7230) en Vochtig alluviaal bos (H91E0C).

4 Terrestrische fauna profiteert mee

In de Leuvenumse beek was sprake van massale ontwikkeling van moerasvegetatie op plekken waar de beek weer buiten haar oevers kon treden. Dit was het gevolg van een combinatie van vernatting van de gronden langs de beek en een hogere lichtbeschikbaarheid door het afsterven van bomen van droge groeiplaatsen. Overigens werden deze bomen na enkele jaren vervangen door soorten van vochtig alluviaal bos, zoals fladderiep. Naast planten van natte standplaatsen, profiteerde ook de terrestrische ongewervelden fauna (spinnen, loopkevers) van de ontstane situatie. De effecten van de maatregel voerden verder dan de zone direct langs de beek. De toename van moerasvegetatie heeft een belangrijke functie voor het hele gebied. Zo is de grote bloemrijkdom aantrekkelijk voor bloembezoekende insecten en vormt de vegetatie een belangrijke voedselbron voor (grote) zoogdieren.

Hout zorgt voor substraatvariatie, foto: RV



Zaailingen van de fladderiep in overstromingszone Leuvenumse beek na beekbodemverhoging, foto: RV



Vernatting oeverzone Leuvenumse beek door zandsuppletie, foto: RV

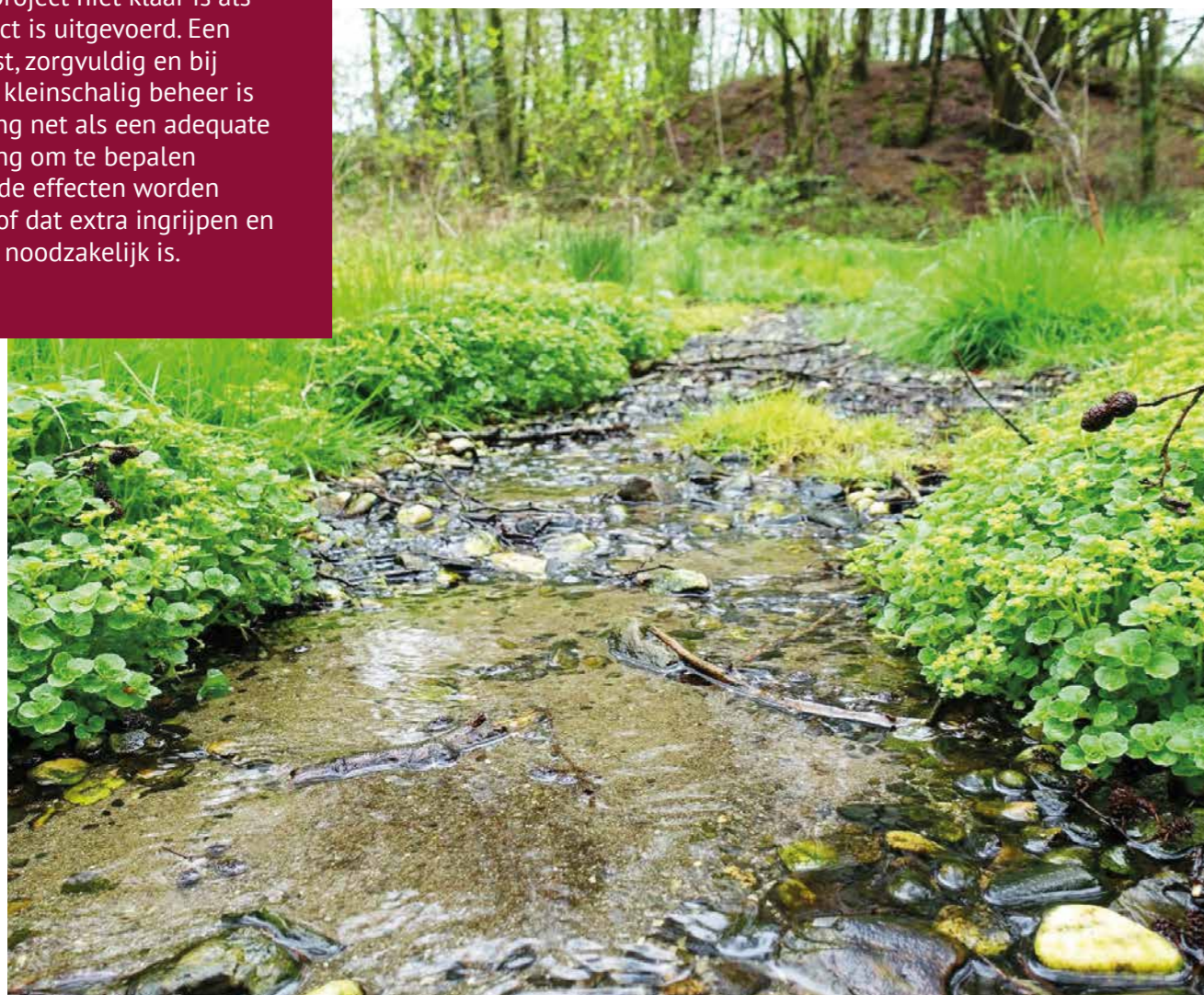


Massale uitbereiding van de bronindicator paarbladig goudveil na hydrologisch herstel op de Tankenberg, foto: FE

Beheer, onderhoud en monitoring

Een keuze voor het werken met nature based solutions zoals het inbrengen van zand, grind en dood hout betekent dat een project niet klaar is als het project is uitgevoerd. Een aangepast, zorgvuldig en bij voorkeur kleinschalig beheer is van belang net als een adequate monitoring om te bepalen of beoogde effecten worden behaald of dat extra ingrijpen en bijsturen noodzakelijk is.

Beek in het bos kan zich na verondiepen zelf in stand houden mits het inzijggebied piekafvoeren goed kan bufferen. Organisch materiaal in de vorm van takjes, blad en detritus zijn welkom als voeding voor de organismen in de beek. Microhabitats ontstaan als vanzelf door afwisseling in stroomsnelheden. Op de overgang van water en land groeit paarbladig goudveil, foto: FE



7.1 Beheer

Omdat elke vorm van beheer en onderhoud zorgt voor een verstoring van het systeem, wordt er bij voorkeur na uitvoering geen beheer en onderhoud uitgevoerd waardoor voor bosontwikkeling wordt gekozen. Als de beekbodem zich niet op de gewenste hoogte bevindt kan het lokaal nodig zijn om extra extra zandsuppletie toe te passen, ingebrachte drempels aan te vullen of extra drempels van grind of dood hout toe te voegen. Het verwijderen van vegetatie is in principe ongewenst omdat dit de stromingsweerstand verlaagt en het risico op ongewenste erosie verhoogt.

Waar het in brongebieden om de korte vegetatie gaat, is het zaak om bij het hooilandbeheer zeer zorgvuldig te werk te gaan. Om het microreliëf en de complexe soortenrijke gradiënten op grotendeels waterverzadigde bodems te sparen, is zorgvuldig beheer geboden. Gebruik bij voorkeur lichte machines of voer het werk uit in handkracht. Om de waterverzadigde bodem niet te beschadigen, is werken met handkracht en het uitlieren van het gemaaid materiaal op een sleepzeil soms de beste oplossing. Op de delen waar de bodem een grotere draagkracht heeft, meestal hoger gelegen (in hellende gebieden niet altijd vanzelfsprekend), is de inzet van meer gemechaniseerd materieel een goede aanvulling. Deskundigheid op de werkvloer is essentieel om de kwetsbare natuurwaarden te behouden of verder te ontwikkelen. Zorg bij de uitvoering dat alle deskundigheid van ecologie en techniek wordt benut.

7.2 Monitoring

Om biologische effecten vast te stellen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, is het belangrijk al te starten met meten in de jaren voorafgaand aan de uitvoering van de maatregelen, de zogenoemde nulmetingen. Geadviseerd wordt minimaal drie keer voorafgaand aan de maatregelen te meten. Door deze informatie te vergelijken met metingen na uitvoering, is vast te stellen welke ontwikkelingen er plaatsvinden tijdens en na uitvoering. Omdat ook andere factoren dan de maatregel effect kunnen hebben op ontwikkelingen in het gebied, is het nodig om ook te meten in vergelijkbare gebieden die niet zijn aangepakt ('controlemetingen'). Ontwikkelingen na een ingreep hebben tijd nodig. Daarom is het belangrijk om voldoende lang door te meten na uitvoering van de maatregel. Bijvoorbeeld een jaar, twee jaar, vijf jaar en tien jaar na

Beheer van een terrein waar een bronbeek aan maaiveld is gelegd. De natste delen worden in handkracht gehooit. Hoger op de helling wordt het gewas op een sleepzeil uitgelierd en op de hoogste delen wordt het maaisel met de laderwagens afgevoerd, foto: FE



uitvoering. Wij adviseren om minimaal vier keer na uitvoering een meting te doen.

Veranderingen aan het lengte- en dwarsprofiel van de beek kunnen worden ingemeten, bijvoorbeeld door te werken met vaste referentiepunten die voorafgaand aan de maatregel langs de beek worden geplaatst. Het plaatsen van palen in de beek heeft niet de voorkeur omdat dit invloed heeft op de erosie- en sedimentatieprocessen in de beek. De substraatsamenstelling en substraatbedekking kan visueel worden ingeschat in vaste kwadraten, bijvoorbeeld om habitatgeschiktheid voor macrofauna en vis te bepalen.

Effecten op de grondwaterstand kunnen gemeten worden met peilbuizen, bijvoorbeeld in een raai dwars op de beek. Door filters op verschillende dieptes aan te brengen kun je meten of er kwel of infiltratie optreedt in het beekdal. Afvoermetingen geven meer inzicht in de mate waarin piekafvoeren optreden en geven zicht op risico's op erosie na uitvoering. Voor deze hydrologische metingen geldt net als voor de biologische metingen dat tijdseries voorafgaand aan de maatregel nodig zijn om veranderingen te kunnen vaststellen.

Colofon

'Ophogen van beekbodems' is een uitgave van OBN Natuurkennis.

Deskundigenteam Beekdallandschap

Voorzitter: Rob van Dongen (Staatsbosbeheer)

Secretaris: Tim Termaat (Staatsbosbeheer)

Adviseur Kennisdelen: Geert van Duinhoven /

Maaïke Hoogland (VBNE)

Tekst

OBN desknudigenteam beekdalen

Rob van Dongen (Staatsbosbeheer)

Ralf Verdonschot (Wageningen University & Research)

Fons Eijsink (Fons Vitea Eijsink)

Vormgeving

Communicatiebureau de Lynx

Fotografie

FE: Fons Eysink

RVD: Rob van Dongen

RV: Ralf Verdonschot

HD: Hans Dekker

We danken Friso Koop (Waterschap Vechtstromen), Peter Paul Schollema (Waterschap Hunze en Aa's), Marcel Horsthuis (Staatsbosbeheer), Maarten Veldhuis (Waterschap Vallei & Veluwe), Ron Schippers (Waterschap de Dommel) en Robert Ketelaar (Natuurmonumenten) voor de door hen uitgevoerde review op het concept van deze brochure.

November 2024

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Ter verdieping

Beuseker, J., Hydrologisch onderzoek. Neerslagafvoermmodellering N2000-gebied: Springendal en Dal van de Mosbeek, Arcadis, september 2018.

Dos Reis Oliveira, P.C., Kraak, M.H.S., Verdonschot, P.F.M., Verdonschot, R.C.M. (2019) Lowland stream restoration by sand addition: impact, recovery and beneficial effects on benthic invertebrates. River Research and Applications 35:1023-1033.

Eekhout, J., Hoitink, T., Morfodynamiek van Nederlandse laaglandbeken, Stowa, 2014.

Eysink, A.T.W., Horsthuis, M.A.P., Dongen, van, R.J.J., Thielemans, J.H.J., Terug naar de bron, evaluatie van herstelprojecten, Unie van Bosgroepen, 2012.

Hop, H., Moonen, J. (2021) Zeldzaamheid van de macrofauna van Nederlandse Binnenwateren op basis van de meetgegevens van de waterbeheerders. Aqualysis waterlaboratorium, Zwolle.

Louw, de P, Kuijper, M., Drost, R., Hendriks, D., Rozemeijer, J., Stuyt, L., Veldonderzoek oppervlakkige afstroming en regelbare drainage in het kader van DROP, opzet en eerste resultaten, Deltares, 2015.

Makaske, B., Maas, G., Candel, J., Handboek geomorfologisch beekherstel, herziene uitgave, Stowa, 2020.

Smeenge H., A. Kieskamp, F. Eysink en E. Sonder, 2024. Brongebied van de Mosbeek herstel, De Levende Natuur, 2024.

Tijhuis, F.H.J., Advies bodemverondieping Springendalse beek, Nepocon, 2020.

Van Dongen, R., Verdonschot, P. (2014) Advies 'Herstel Leuvenumse beek'. Advies OBN-06-BE, Driebergen.

Van der Molen, D.T., Pot, R., Evers, C.H.M., van Nieuwerburgh, L.L.J. (2012) Referenties en maatlaten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2015-2021. STOWA rapportnummer 2012-31. STOWA, Amersfoort.

Verdonschot, P., Besse-Lototskaya, A., Eekhout, J., Fraaije, R. (2012), Beekdalbreed hermeanderen, bouwstenen voor de "leidraad voor inoovatief beek- en beekdalherstel", STOWA, Amersfoort.

Verdonschot, P., Besse-Lototskaya, A. Protocol 'inbrengen dood hout in de beek'.

Verdonschot P.F.M., Hoek Tj.H. van den & Hoorn M.W. van den, 2002. De effecten van bodemverhoging op het beekecosysteem van de Springendalse beek. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1075.

Verdonschot, R.C.M., Eysink, A.T.W. (2022) Advies herstel Bemersbeek. Rapport nummer OBN-2022-31-BE, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.

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

Verdonschot, R.C.M., Dekkers, D.D., Besse-Lototskaya, A.A. & P.F.M. Verdonschot (2016) Zandsuppletie in de Leuvenumse beek: monitoring van de fysische en biologische effecten 2014-2015. Zoetwatersystemen, Alterra Wageningen UR, Wageningen.

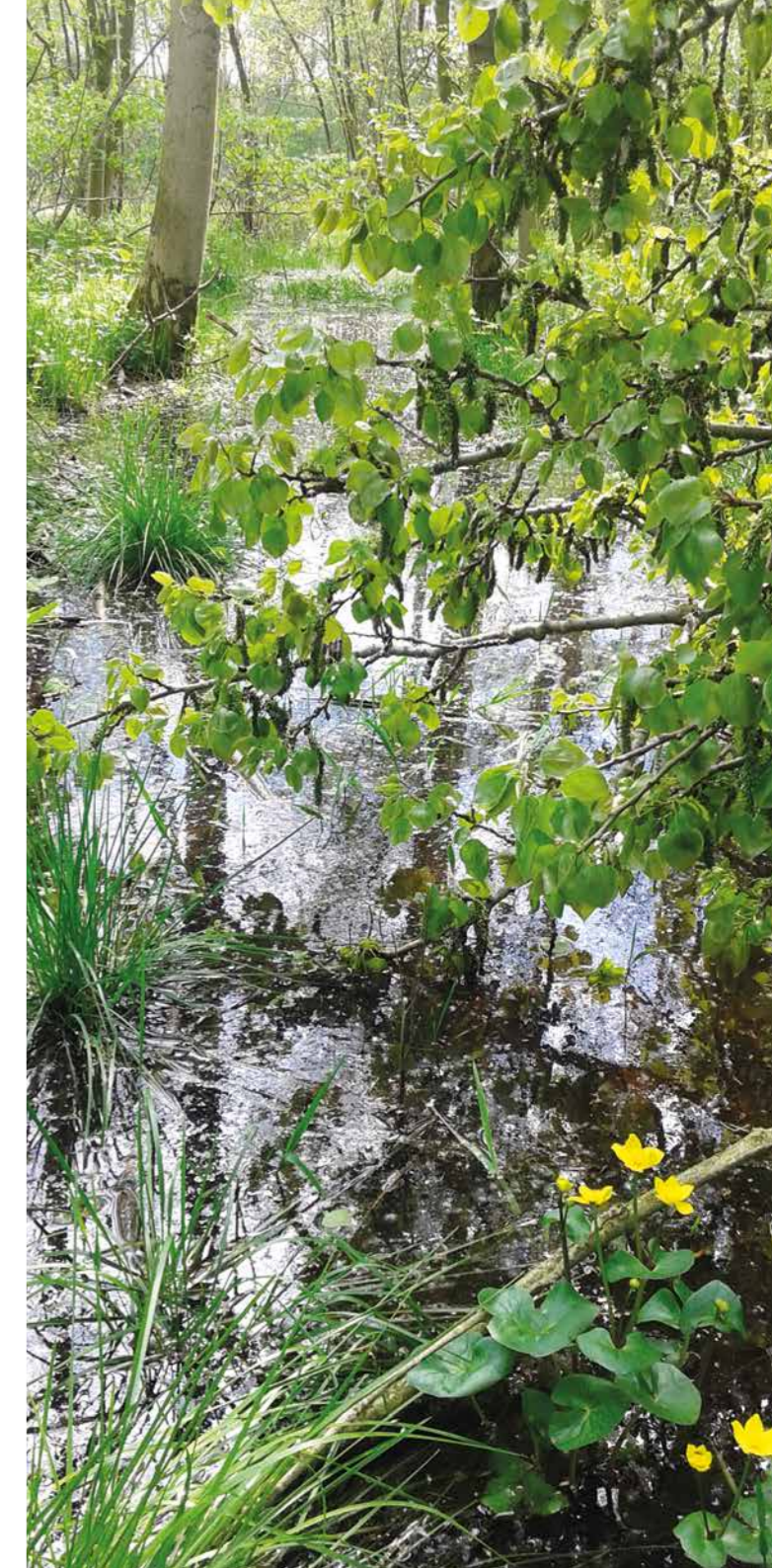


Foto: RVD

OBN Natuurkennis wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, visserij, voedselzekerheid en natuur en BIJ12.



Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur



**Vereniging van bos- en
natuurterreineigenaren (VBNE)**

Princenhof Park 7
3972 NG Driebergen
0343-745250
info@vbne.nl



Alle publicaties en producten van
OBN Natuurkennis zijn te vinden op
www.natuurkennis.nl

samen werken aan
natuurherstel

