

Varianten toepassing dood hout in stromende wateren



Colofon

Auteur: Bart Reeze (Bart Reeze Water & Ecologie)
Opdrachtgever: Anke Rijnen-Van Geijn
Projectleider: Bart Brugmans
Begeleidingsgroep: Bram Spierings en Bart Niemeijer
Gebruikersgroep: Peter van Zutphen, Jeroen ten Westeneind, Sjaak Robben en Amy Janssen Steenbergen
Dilemmatafel dood hout: Jos van der Stappen, Tonny Steenbakkers, André Boom, Paul van Rosmalen, Chris van Rens, Brenda Arends en Roel van Dijk
Bijlage 1: Lisa Weijers (Royal Haskoning DHV)
Tekeningen: Dirk Oomen
Grafisch ontwerp en opmaak: Nicolet Pennekamp
Uitgave: Waterschap Aa en Maas, 's-Hertogenbosch

© copyright 2022. Waterschap Aa en Maas. Met duidelijke bronvermelding mag alles uit dit rapport worden overgenomen.

Datum: 17 augustus 2022
Versie: 1.0



Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Dood hout als beekherstelmaatregel	4
1.2	Uitgewerkte varianten	4
1.3	Werking	5
1.4	Randvoorwaarden	5
1.5	Ecologische effecten	6
1.6	Hydrologische en morfologische effecten	6
1.7	Voorspellen/modelleren van hydrologische effecten	8
1.8	Beperkende factoren	8
1.9	Beheer en onderhoud	8
1.10	Actualisatie	9
2	Varianten beken (R4, R5 en R6)	10
2.1	Overzicht	10
2.2	Randvoorwaarden alle varianten	11
2.3	Kansenkaarten	11
	Vlechtwerken	12
	Losse bomen	14
	Stammen	16
	Stobben	18
	Langshout	20
3	Referenties	21
	Bijlage 1: Berekening van opstuwing van houtconstructies	22

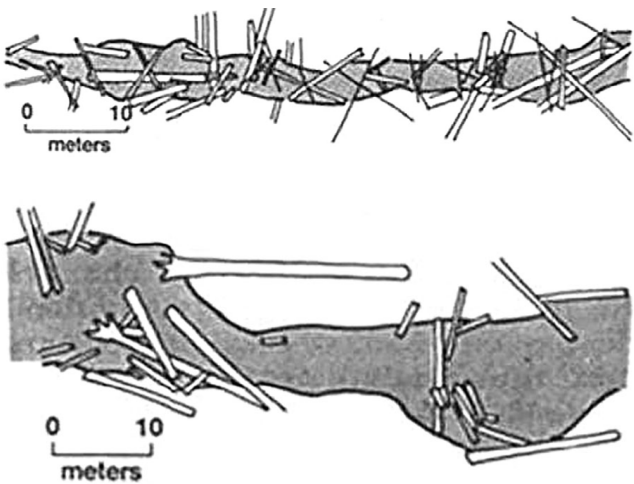
1. Inleiding

1.1 Dood hout als beekherstelmaatregel

Met toenemende aandacht voor beekherstel kwam na de eeuwwisseling de toepassing van dood hout als beekherstelmaatregel in beeld. Het inbrengen van hout in beken of het niet meer verwijderen van ingevallen hout is een relatief eenvoudig uitvoerbare en daarmee kosteneffectieve maatregel [1]. Het inbrengen van dood hout (ook wel beekhout of rivierhout) is inmiddels een vrij gangbare maatregel bij inrichtingsprojecten van waterschap Aa en Maas.

De maatregel ‘dood hout’ is één van de zeven ‘Bouwen met Natuur’ maatregelen in beken. De maatregel betreft het inbrengen of laten liggen van stukken/pakketten (dood) hout in de loop van de beek. Met dood hout worden stammen, takken, wortels, stronken e.d. bedoeld met een minimum diameter van 2,5 cm en een lengte > 1 m. Dood hout kan afkomstig zijn van beek-begeleidende bomen, maar het kan ook natuurlijk inheems materiaal van buiten het beekstelsel zijn, dat machinaal is ingebracht als herstelmaatregel [2].

In natuurlijke beken is veel hout aanwezig. In laaglandbeken die vrijwel ongestoord zijn in een beboste omgeving benadert het aandeel hout zo’n 25% van de totale substraatbedekking, met daarbij nog veel ingevangen materiaal (blad, detritus en ander organisch materiaal). Hierbij ligt het hout verspreid in en rondom de beek. In bovenlopen is meer hout aanwezig dan in benedenlopen. In benedenlopen zijn de houtstructuren vooral aan de oever te vinden. In meer open landschappen is hout aanwezig als gevolg van transport van hout van bovenstrooms. Met name na zware stormen kan de aanwas van ingevallen hout groot zijn. Daarnaast kunnen ook de activiteiten van bevers zorgen voor aanvoer en afvoer van hout [1].



De hoeveelheid en verspreiding van dood hout in natuurlijke bovenlopen (boven) en benedenlopen (onder) [1].

In het geactualiseerde ‘streefbeeldboek’ zijn de eisen voor ecologische inrichting en beheer & onderhoud voor verschillende beektypen met de opgave beekherstel en NVO nader uitgewerkt [4]. Hierin is ook aangegeven in welke situaties dood hout als maatregel kan worden toegepast. In de praktijk zijn er echter veel verschillende uitgangssituaties en manieren om dood hout in te brengen en is er behoefte aan meer houvast en eenduidigheid wat betreft de mogelijkheden voor het inbrengen van dood hout. Hierbij is inzicht gewenst hoe de mogelijkheden van invloed zijn op de hydrologie (opstuwing) en de ecologische waterkwaliteit.

In dit document wordt de aandacht vooral gericht op het toepassen van dood hout in stromende wateren. Het toepassen van dood hout ligt wat minder voor de hand in sloten en kanalen, vooral vanwege de aan- en afvoerfunctie van dit type wateren. Dood hout zorgt echter ook in dit type wateren voor extra structuurvariatie; dit is onder andere van belang voor waterorganismen als hechtingsplaats voor poppen en eieren of als schuilgelegenheid (zie onder het kopje ‘werking’). Toepassing ligt vooral voor de hand op locaties met voldoende overcapaciteit (beheerruimte) en waar beperkt onderhoud plaatsvindt, zoals in flauwe oevers en moeraszones waar ook struikopslag aanwezig is.

Voor het toepassen van dood hout wordt een projectplan opgesteld zoals bedoeld in artikel 5.4 van de Waterwet. Vaak wordt de maatregel toegepast als onderdeel van een groter inrichtingsproject. In het projectplan wordt vastgelegd welke maatregel waar wordt uitgevoerd. Bij de totstandkoming van het projectplan worden alle relevante partijen in het gebied betrokken.

1.2 Uitgewerkte varianten

In dit document worden een aantal varianten voor het toepassen van dood hout in beken gepresenteerd. De varianten zijn bedoeld voor medewerkers van het waterschap en daarbuiten (terrein behorende organisaties, adviesbureaus) die betrokken zijn bij inrichtings- of beheerplannen van het waterschap (ecologen, hydrologen, projectleiders, districts-medewerkers, etc.).

De varianten beschrijven enkele algemene, veel voorkomende ‘oplossingen’ voor het toepassen van dood hout in beken. Hierbij is rekening gehouden met de kaders vanuit het beheer en onderhoud (Beheer- en Onderhoudsplan Watersysteem, het Handboek Onderhoudsvoorzieningen Watersysteem en Wijzer Onderhoud) [5,6,7]. De varianten gelden als ‘standaarden’ voor het toepassen van dood hout. Deze standaarden gelden als uitgangspunt voor bijvoorbeeld beheer en onderhoud protocollen en het berekenen van opstuwing.

Er is gekozen voor een beperkte set varianten. De ervaring leert dat iedere situatie uniek is, vanwege de steeds weer andere combinatie van omgevingsfactoren, lokale omstandig-

heden en partijen die bij het project betrokken zijn. De varianten bieden een handvat bij de toepassing; de verdere uitwerking en detaillering vinden plaats op projectniveau. Er zijn vijf varianten uitgewerkt: vlechtwerken, losse bomen, stammen, stobben en langshout. Verderop in het document zijn de randvoorwaarden en aandachtspunten voor toepassing van deze varianten verder uitgewerkt.

KRW-watertype	Functie Opgave	Variant
R-typen	natuur beekherstel verwezen beekherstel verweven nvo	Vlechtwerken
		Losse bomen
		Stammen
		Stobben
		Langshout

1.3 Werking

Op welke wijze draagt de maatregel bij aan de ecologische kwaliteit? In de eerste plaats biedt dood hout een stabiele leefomgeving voor macrofauna en vis. Veel macrofauna-soorten leven op of in het hout. Ze vinden er voedsel in de vorm van aangehechte (kiezel)algen en ingevangen blad; sommige soorten leven van microben en schimmels in het hout. Ze gebruiken het hout als hechtingsplaats voor poppen en eieren, als bouw materiaal voor huisjes of als plek om uit te vliegen of op te landen [1]. Voor vissen vormt het dood hout een goede plek om te schuilen en voedsel te zoeken.

Daarnaast ontstaat er rondom het hout variatie in stroming. In de stroomversnellingen spoelt zand weg en kunnen diepere kommen of grindbankjes ontstaan (indien grind in de ondergrond aanwezig is). In de luwte van de stroming wordt juist fijn zand en fijn organisch materiaal afgezet en wordt bladmateriaal ingevangen [1]. Zo leidt dood hout tot meer variatie van de bodemmorfolgie en het beddingsubstraat en ontstaat een mozaïek van habitattypen, waar veel soorten van profiteren [8].

Ten slotte zorgen stroomversnellingen rond het hout voor turbulentie en hogere zuurstofconcentraties. Beken zijn



Voorbeeld van morfologische variatie door ingebracht beekhout in de Overijsselse Vecht [9].

van nature met zuurstof verzadigd; in situaties waar dit niet het geval is, kan dood hout via turbulentie zorgen voor een hogere verzadiging [1].

1.4 Randvoorwaarden

Ecologisch succes is niet verzekerd wanneer dood hout wordt ingebracht. Een randvoorwaarde is dat de milieu-omstandigheden in de beek op orde zijn. In permanente beken gaat het hierbij met name om stroming, beschaduwing (licht) en voedselrijkdom [1,3,8,10,11]. Variatie aan stromend water zorgt voor het ontstaan van een gevarieerd bodemsubstraat (zand, grind, takken, blad en hout); beschaduwing voorkomt dat het -vaak ondiepe en voedselrijke- water snel dichtgroeit met planten. In de praktijk wordt het dode hout dan al snel weer samen met de waterplanten verwijderd [3].

Voor de aanwezigheid van stroming (en een stabiele morfolgie) is het volgende van belang [3]:

- 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’ (lijn die de laagste punten in het profiel met elkaar verbindt) 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) [13].
- De aan- en afvoer van sediment (zand, slib, organisch materiaal) zijn met elkaar in evenwicht.

Voor beschaduwing gelden de volgende randvoorwaarden [3]:

- Voor effectieve beperking van de groei van waterplanten (zoveel dat er niet of veel minder gemaaid hoeft te worden) is een beschaduwing nodig van minimaal 70%. Dit is het deel van het wateroppervlak dat niet direct door de zon beschenen wordt als gevolg van de schaduwwerking van de oevervegetatie (m.n. bomen) en oevers (vooral van belang bij hoge oevers).



Houtpakket in de Leerinkbeek groeit dicht en vangt maaiafval in [12]. De beschaduwing in de oeverzone is onvoldoende om plantengroei in de beek te voorkomen.

- In grotere (en diepere) benedenlopen (diepte >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. In dit geval is bovenstaande randvoorwaarde minder van belang. Beschaduwing kan nog wel gewenst zijn om (lokaal) de ontwikkeling van de oevervegetatie te beperken.

Na een herinrichting kan het soms jaren duren voordat aan de randvoorwaarden van stroming, een stabiele morfologie en beschaduwing is voldaan. In deze gevallen moet een aantal jaren worden gewacht voordat het hout kan worden toegepast. Voor de stroming en morfologie gaat het dan om een periode van ca. 3 jaar; de ontwikkeling van voldoende beschaduwing kost minimaal 6 jaar [3].

In het streefbeeldboek zijn grenswaarden opgenomen voor de gemiddelde stroomsnelheid in de zomer en het aantal dagen dat er stagnatie van de stroming mag optreden. Voor de beschaduwing is bepaald welk percentage van de oeverlengte dat bedekt moet zijn met een kroonsluiting van tenminste 75%. Voor het toepassen van dood hout is dit percentage niet relevant; hier is vooral van belang dat dat dood hout wordt toegepast in de beschaduwde delen van het waterlichaam.

Grenswaarden voor de gemiddelde stroomsnelheid in de zomer en het maximum aantal dagen dat stagnatie mag optreden in beken (KRW-watertype R4, R5, R6 en R20) [4].*

Waterlichamen met de opgave	Stroomsnelheid	Stagnatie
Natuur Beekherstel	≥ 18 cm/s	≤ 7 dagen
Verweven Beekherstel	≥ 14 cm/s	≤ 22 dagen
Verweven NVO	≥ 14 cm/s	≤ 22 dagen

*Bij de KRW-doelafleiding kunnen voor (delen van) individuele waterlichamen afwijkende grenswaarden zijn gehanteerd. In dat geval zijn de grenswaarden van de KRW-doelafleiding leidend, check de ‘factsheets’ per waterlichaam uit de Watersysteemanalyse [14].

1.5 Ecologische effecten

Uit diverse onderzoeken blijkt dat het inbrengen van dood hout positieve effecten heeft op het voorkomen van kenmerkende macrofauna- en vissoorten van beken [1,3]. In recent onderzoek in Brabantse beken werden op het hout meer kenmerkende soorten gevonden dan wanneer hout afwezig was. De soorten profiteren van het stabiele, harde substraat dat het hout biedt en de toename van beekmilieus door meer variatie in stroming en substraat [3,8].

Het type houtpakket is voor de meeste soorten niet relevant [1]. Dit was eerder ook al in de Snelle Loop waargenomen [10]. Dat het hout zelf voor sommige soorten belangrijk is, blijkt bijvoorbeeld uit de aanwezigheid van de houtbewonende kokerjuffer *Lype*, die zich voedt met hout. Sommige soorten hebben ook een voorkeur voor bepaalde varianten, zoals de kokerjuffer *Goera pilosa* voor parallelle stammen, de vedermug *Rheotanytarsus* voor vlechtwerken en de vlokreeft *Gammarus pulex* voor stobben [8,10].

1.6 Hydrologische en morfologische effecten

Het belangrijkste hydrologisch effect van dood hout is het ontstaan van opstuwing. Dood hout zorgt plaatselijk voor extra weerstand in de beek, waardoor het waterpeil bovenstrooms van het hout stijgt en de stroomsnelheid hier afneemt. De mate waarin opstuwing plaatsvindt, hangt af van de hoeveelheid en de plaatsing van het hout (dimensies en configuratie) in relatie tot het dwarsprofiel, de afvoer en het verhang van de waterbodem [3]. De opstuwing wordt vooral bepaald door het deel van de dwarsdoorsnede (m.n. breedte) dat wordt ingenomen door het dood hout [15,16]. De opstuwing neemt vervolgens toe met de afvoer tot een maximaal peilverschil. Bij hogere afvoeren kan het water steeds gemakkelijker over het dood hout heen stromen, waardoor het opstuwend effect weer afneemt. De afvoer waarbij de maximale opstuwing plaatsvindt, hangt daarom vooral af van de hoogte van het dood hout [16].

Ook de oriëntatie van het dood hout is van belang. Wanneer het dood hout in een hoek ligt waarbij water met de stroming mee wordt geduwd, is de opstuwing kleiner dan wanneer dood hout dwars of tegen de stroom in ligt [24,25]. De locatie van dood hout is ook van belang. Dood hout stuwt het meeste op de locatie waar de stroomsnelheid het hoogste is (de stroomdraad). Op de oever is de opstuwing relatief klein, omdat de stroming hier het laagste is [24]. Tot slot kan de opstuwing van een lomp en groot object verminderd worden door een reeks aan kleinere objecten ervoor te plaatsen. Zo wordt de stromingsdynamiek geleidelijk aangepast: ieder benedenstrooms object kan profiteren van de luwte van het voorgaande object [24].

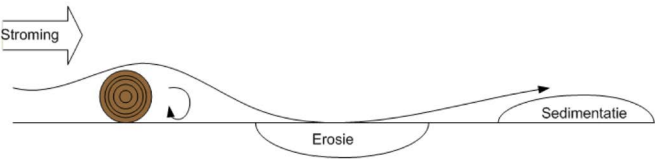


Toepassing van dood hout in een vistrap (foto Iwan de Vries).

De opstuwing kan in de loop van de tijd veranderen, bijvoorbeeld als gevolg van ophoping van blad tussen het dood hout of afbraak en wegspoelen van het hout. Ook is een afname van de opstuwing waargenomen door natuurlijke veranderingen van het dood hout en morfologische aanpassingen van de beek, zoals het ontstaan van spoelkuilen (zie verderop bij de morfologische effecten) [15]. De opstuwing is niet altijd ongewenst. Soms wordt dood hout ingezet om de (grond)waterstand in het beekdal te verhogen, bijvoorbeeld in combinatie met bodemverhoging (zandsuppletie). Daarnaast zorgt dood hout voor een vertraagde afstroming en daarmee voor het langer vasthouden van water in het stroomgebied (anti-verdrogingsmaatregel). De stuwende werking van dood hout wordt soms ook gebruikt voor het creëren van een vispassage of ter vervanging van een stuw (opvangen van het verhang) [3,10]. Bij lage afvoeren en zonder bodemverhoging kan dood hout dan wel resulteren in lagere waterpeilen dan voorheen.

De belangrijkste morfologische effecten die kunnen optreden zijn sedimentatie (aanzanding en aanslibbing) stroomopwaarts van het dood hout en erosie op de plek van het dood hout. De sedimentatie bovenstrooms wordt veroorzaakt door de stagnatie van het water en vindt alleen plaats als er van bovenstrooms sediment wordt aangevoerd (zand, slib). De sedimentatie leidt meestal tot een afname van de diversiteit van bodemsubstraten en (bij voldoende licht) ook tot begroeiing met plantensoorten van voedselrijk water [3,17].

De inbreng van dood hout veroorzaakt (lokaal) turbulentie en versnelling van de stroming. De stroomversnellingen zorgen voor het in beweging komen van de ondergrond (meestal zand). Hierdoor kunnen stromingskuilen ontstaan en kan erosie van de oever optreden. Het weggespoelde



Te verwachten effect op erosie en sedimentatie door invloed van een drempel [18].

zand wordt op andere plekken weer afgezet in de vorm van zandbankjes. Deze ontstaan tussen of iets stroomafwaarts van het dood hout [3,17].

Met het toepassen van dood hout wordt gestreefd naar het stimuleren van kleinschalige variatie in de bodemmorfologie en het beddingsubstraat. Grootschalige erosie die leidt tot destabilisatie van oevers en het wegspoelen of verzanden van dood hout is ongewenst en kan worden voorkomen door de keuze van een passende variant.

Dood hout kan er voor zorgen dat de stroming wordt afgebogen en de oever wordt ontlast. Hiermee kan overmatige oevererosie worden voorkomen. De effectiviteit van het inzetten van dood hout bij het voorkomen (of stimuleren) van morfologische processen is doorgaans echter beperkt. Erosie en sedimentatie spelen namelijk op een hoger ruimtelijk schaalniveau en worden vooral gestuurd door de beschikbaarheid van bodemmateriaal (erodeerbaarheid van bodem en oevers) en de veranderingen in de sedimenttransportcapaciteit (als gevolg van veranderingen in afvoer, verhang, dimensies en plantengroei in de waterloop). Overigens is levend hout in de vorm van bomen in de oeverzone de beste manier om oevers op een natuurlijke manier te beschermen tegen overmatige erosie.



Stroomkom van 2 meter diep in de Boven Slinge. De stroomkom is ontstaan door een omgevallen beuk waarbij het sediment uit de kom benedenstrooms is neergelegd in de vorm van een grindbank [9].

Het is belangrijk om te beseffen dat erosie en sedimentatie continu in beweging zijn. Locaties die in de ene periode aanzanden, kunnen in een volgende periode weer eroderen, bijvoorbeeld als gevolg van afbraak en wegspoelen van het hout. Ook is er bijvoorbeeld variatie in de seizoenen: plekken die in de zomer eroderen, kunnen na een hoogwater weer aanzanden. Hierbij zoekt de beek steeds weer naar de (natuurlijke) dimensies die passen bij de actuele situatie. Voor het ontstaan van een gevarieerd bodemsubstraat is het van belang om dit natuurlijke proces zo veel mogelijk zijn gang te laten gaan.

1.7 Voorspellen / modelleren van hydrologische effecten

Bij de toepassing van dood hout kan de mate van opstuwing vooraf worden ingeschat. Hiervoor zijn verschillende manieren beschikbaar [3]:

- Sobek: Door houtpatches te conceptualiseren kan de mate van opstuwing tot op zeker hoogte worden gemodelleerd met behulp van hydraulische software zoals Sobek [12].
- Model Torfs (2013): Webapplicatie met als doel een eerste analyse van de invloed van lokale verruwing (en aanpassing dwarsdoorsnede) op waterstand en stroming. Het model is toegepast op de Tungelroyse beek [16].
- Model Geertsema (2019): Parametrisch model, waarmee op basis van afvoer, verhang, beekprofiel en houtpakket-profielen de mate van opstuwing kan worden voorspeld. Het model is gekalibreerd op de Leerinkbeek, Tungelroysebeek, Tongelreep en Ramsbeek [15].
- CFD (computational fluid dynamics): Voor modeleren van effecten van houtpakketten op de stroming (snelheid en patronen) [18].

Om overstromingsrisico's te toetsen is Sobek de meest geschikte methode. Wegman heeft deze methode uitgewerkt voor de Leerinkbeek [12]. De methode van Wegman kan ook versimpeld worden toegepast. Deze versimpelde methode kan de hoeveelheid opstuwing bij een bepaald houtpakket echter niet met zekerheid voorspellen. In bijlage 1 wordt de werkwijze voor het inschatten van de opstuwing als gevolg van houtconstructies nader toegelicht.

1.8 Beperkende factoren

De kansen voor het toepassen van dood hout zijn afhankelijk van diverse factoren. In de praktijk gaat het hierbij vooral om de overcapaciteit in de waterloop (beheerruimte) en de beschikbaarheid van grond. Deze zijn van belang om overlast op aangrenzende percelen te voorkomen (m.n. wateroverlast) en/of om de benodigde randvoorwaarden voor toepassing te realiseren (stroming, beschaduwning). De beperkende factoren zorgen ervoor dat de mogelijkheden voor het toepassen van dood hout per traject kunnen verschillen.

De overcapaciteit (beheerruimte) is het deel van de waterloop dat niet nodig is voor de aan- en afvoer van water. Dit deel van de waterloop is deels beschikbaar voor het plaatsen of laten liggen van dood hout. Bij sommige beken is deze beheerruimte niet aanwezig; het plaatsen van dood hout leidt dan al snel tot wateroverlast op aangrenzende percelen.

Het is niet wenselijk om de beheerruimte te vergroten door vergroting van het dwarsprofiel, omdat dit ten koste gaat van de stroomsnelheid. In dat geval kan de beheerruimte beter worden gecreëerd buiten de waterloop (waterberging of overstromingszone).

Om te kunnen voldoen aan de randvoorwaarden voor stroming en beschaduwning, kan het nodig zijn om het dwarsprofiel te verkleinen of beschaduwning te realiseren in de oeverzone. Bij verkleining van het dwarsprofiel (of het ontbreken van beheerruimte in de waterloop) zal een overstromingszone of waterberging nodig zijn om wateroverlast op aangrenzende percelen te voorkomen. Hiervoor is grond nodig. Soms is grond van het waterschap, gemeente of terrein behorende organisatie beschikbaar (bijvoorbeeld door vergraving van een onderhoudspad), maar vaak zal ook extra grond nodig zijn. De kansen voor het toepassen van dood hout zijn in veel gevallen afhankelijk van de eigendoms-situatie van de oeverstroken en van de bereidwilligheid van eigenaren om grond te verkopen. Daarbij is vaak de medewerking van meerdere aanliggende eigenaren tegelijk noodzakelijk.

1.9 Beheer en onderhoud

Met betrekking tot beheer en onderhoud zijn er een aantal specifieke aandachtspunten in de omgang met dood hout:

- Markeren van locaties waar dood hout is ingebracht of kan blijven liggen [20].
- Instandhouding van het dood hout, omwille van het ecologisch functioneren [19]. Dood hout vergaat na verloop van tijd of spoelt weg [3].
- Stabiele vastlegging van het dood hout, omwille van de veiligheid [19].
- Dood hout pakketten kunnen 'dichtgroeien' met water- en oeverplanten [3,12]. Bovendien kan er zwerfvuil in het dode hout blijven hangen [3].
- Het optreden van geomorfologische aanpassingen van de beek ter hoogte van het dood hout, zoals plaatselijke verdiepingen of oevererosie [3,12].
- De toepassing van dood hout vraagt om maatwerk en flexibiliteit en is vaak ook een kwestie van proberen en leren. Vaak kan er meer dan gedacht. Daarbij geldt het uitgangspunt van de 'omkeerbaarheid': er is ook ruimte om te stoppen met de maatregel als het niet blijkt te werken [20].
- Vervanging bij baggeren.

Markering van locaties

Voor het beheer en onderhoud is het van groot belang dat duidelijk is waar dood hout is ingebracht. Dit voorkomt dat dood hout per ongeluk wordt verwijderd of dat schade ontstaat aan onderhoudsmachines. Een goede markering is extra van belang in verband met de inzet van (wisselende) externe partijen bij het maaibeheer. Een goede markering bestaat uit twee onderdelen:

- Digitale markering. Zorg dat de locaties zijn opgenomen in het beheerregister en/of het maaibestek (digitale kaart die mee gaat 'op de kraan').
- Markering in het veld. De digitale markering kan worden ondersteund door bijvoorbeeld (een of meerdere) paaltjes, knotwilgen, bomen, struiken, etc.

Regulier beheer

Vervolgens is het van belang om het beheer van de gemarkeerde locaties te organiseren. Dit kan het beste door regelmatig een inspectie uit te voeren op de dood hout locaties of -trajecten en hierbij een controle uit te voeren op de volgende aspecten [19]:

- De aanwezigheid van het hout. Is er nog voldoende hout aanwezig? Vul dood hout aan indien nodig. Laat dood hout dat 'vergaan is' zo veel mogelijk liggen.
- De locatie van het hout. Is het hout op z'n plaats gebleven? Vul dood hout aan indien nodig of leg het dood hout terug op de aangewezen plaats.
- De positie van het dood hout. Licht het dood hout nog op de juiste hoogte ten opzichte van het waterpeil? Zorg dat het dood hout zoveel mogelijk in het water ligt, ook bij lagere afvoeren. Laat dood hout dat (gedeeltelijk) onder zand is verdwenen zo veel mogelijk liggen.
- De kwaliteit van de verankering (ketting, paal, beton, oever-ingraving). Is die nog deugdelijk? Verbeter de verankering indien nodig.
- Overstroming van het dood hout. Vlechtwerken worden onder de waterlijn aangebracht (waterlijn bij normale afvoer). Andere houtconstructies mogen ook deels boven de waterlijn aangelegd worden.
- De doorstroming van het dode hout. Vormt het dode hout een obstakel voor de afvoer (of aanvoer van water)? Verwijder de ongewenste begroeiing in het water en op het talud, alle zwerfvuil en het teveel aan blad (niet alle blad).
- Een terugkerende begroeiing met waterplanten of oeverplanten (grote waternavel) is een indicatie dat de locatie niet geschikt is voor dood hout (zie onder het kopje 'randvoorwaarden'). Raadpleeg in dat geval de ecooloog voor overleg over de locatiekeuze.
- Morfologische aanpassingen van de beek, zoals een plaatselijke verdieping of oevererosie [3]. Dergelijke aanpassingen zijn een natuurlijke reactie van de beek. Laat in beken die vrij mogen meanderen de natuurlijke processen zo veel mogelijk hun gang gaan. In beken die op leggerprofiel moeten worden gehouden, mag het plaatsen van dood hout niet resulteren in het aantasten van het profiel. Kijk in gevallen waarin dit wel optreedt of de morfologische aanpassingen een probleem vormen voor de veiligheid of voor de doorstroming. Ga in voorkomende gevallen in overleg met de ecooloog over de locatie en vorm van het dode hout (m.n. de breedte). In het begin kan de controle elk jaar uitgevoerd worden, later kan de frequentie omlaag. Na een hoogwater is het wel aan te raden om een inspectie uit te voeren [19].

Ingevallen bomen en takken

Naast het inbrengen van dood hout kan hout ook op natuurlijke wijze in het water komen. Dit is bijvoorbeeld het geval na een storm of als gevolg van activiteiten van de bever. Dit is eigenlijk de gemakkelijkste en goedkoopste wijze van het vergroten van de hoeveelheid dood hout in het water. Het laten liggen van bomen en takken is niet overal gewenst en kan een risicofactor vormen voor de veiligheid of voor de omgeving. In veel waterlopen zullen ingevallen bomen en takken daarom verwijderd moeten worden.

Dit type beheer wordt uitgevoerd na een (hevige) storm, in de leefgebieden van de bever (rondom burchten, locaties zijn meestal wel bekend) en bij overige veldbezoeken. Hierbij gelden de volgende aandachtspunten: Voor hout dat op natuurlijke wijze in het water terecht komt geldt het uitgangspunt: 'laten liggen waar het kan, ruimen waar het moet'.

- Ter ondersteuning van dit uitgangspunt zijn kaarten ontwikkeld waarop is aangegeven waar ingevallen hout in principe kan blijven liggen, zie bijlage 2 en Geoweb.
- Verwijder alleen hout dat een significant probleem vormt voor de veiligheid of voor de doorstroming. Ga in voorkomende gevallen in overleg met de hydroloog om de risico's in te schatten.
- Laat eventueel een deel van het hout liggen (verwijder niet alles) of zorg voor (extra) verankering.
- Hef de opstuwende werking van een beverdam op door een (grote) buis door de dam te steken ('beaver deceiver'). Dit voorkomt dat de bever aan een nieuwe dam gaat beginnen.
- Markeer de locaties waar het dood hout is blijven liggen (digitaal en in het veld).

Baggeren

Baggeren is het gevolg van de (netto) ophoping van sediment en organisch materiaal. Dit is een indicatie dat er in de waterloop niet (volledig) wordt voldaan aan de randvoorwaarden voor toepassing van dood hout, zie onder het kopje 'randvoorwaarden'. Toch kan het voorkomen dat er baggerwerkzaamheden uitgevoerd moeten worden in een traject waar dood hout aanwezig is.

- Kijk of het mogelijk is om bestaande houtconstructies (deels) te sparen bij de baggerwerkzaamheden.
- Herstel de houtconstructies na de baggerwerkzaamheden conform de aandachtspunten uit dit document (zie bij de uitwerking van de 'varianten').
- Sluit waar mogelijk aan op de houtconstructies die gespaard kunnen worden.
- Kijk of het redelijkerwijs mogelijk is om een deel van het hout dat verwijderd moet worden opnieuw te gebruiken. Dit kan het beste door het hout uit een oude constructie meteen terug te plaatsen op een stuk dat al gebaggerd is. Anders moet het hout tijdelijk onder natte en zuurstofrijke condities in de buurt worden bewaard.
- Indien mogelijk wordt hierbij niet alleen het 'beste' hout gebruikt, maar juist ook het hout dat al (deels) is afgebroken.

1.10 Actualisatie

De varianten zijn gebaseerd op de huidige stand van zaken qua kennis en werkwijzen. Deze zijn aan veranderingen onderhevig: in de loop van de tijd ontstaan nieuwe (kennis)inzichten, methoden, ervaringen, oplossingen en bijpassende besluitvorming. Deze kunnen ervoor zorgen dat de varianten niet meer actueel zijn en aangepast moeten worden. In dat geval zal er een actualisatieslag plaatsvinden.

2. Varianten beken (R4, R5 en R6)

2.1 Overzicht

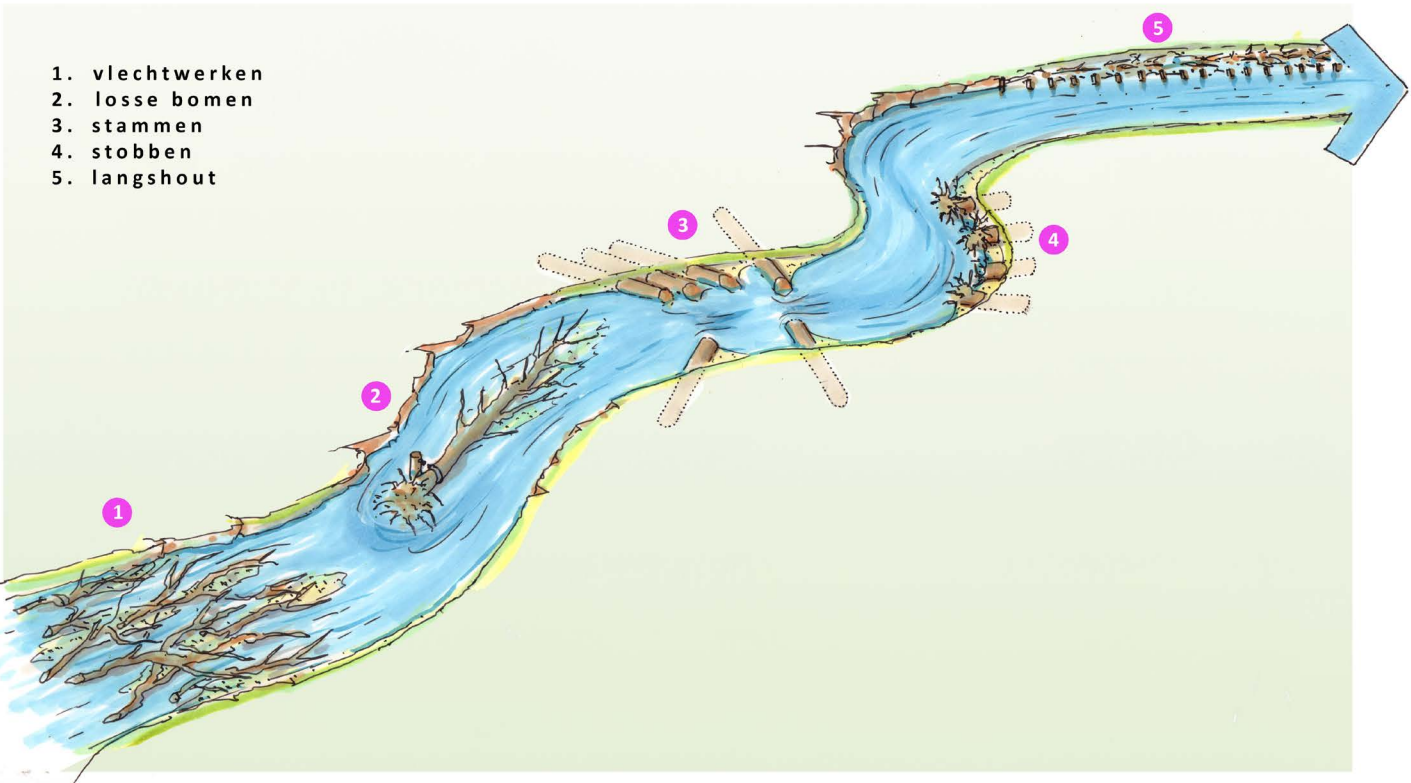
Dood hout kan op verschillende manieren worden ingebracht. Welke variant het meest geschikt is in een bepaalde situatie, hangt vooral af van de omvang van de waterloop (het KRW-type) en de wens om de stroombaan vrij te houden voor de afvoer of aanvoer van water of bijvoorbeeld kano-vaart. In kleinere beken zijn vlechtwerken van takken over de gehele breedte van de waterloop een geschikte variant. Losse bomen worden daarentegen meer toegepast in grotere waterlopen. Stammen en stobben kunnen goed worden toegepast in situaties waar de waterloop vrij moet blijven, maar kunnen in kleinere waterlopen ook dicht tegen elkaar aan worden gelegd en (in een serie) bijvoorbeeld worden toegepast als vervanging voor een stuw. De variant langshout bestaat uit een palenrij met daarachter takken (en stobben). Deze variant is geschikt voor aanvoerwateren.

Andere vormen van dood hout in beken zijn beschoeiingen en bodemdrempels. De ecologische winst van deze varianten is gering [1]. Houten beschoeiingen creëren een scherpere scheiding tussen water en land. Bodemdrempels zijn boom-

stammen die dwars op de stromingsrichting worden geplaatst. De bijdrage van bodemdrempels aan de habitatheterogeniteit is zeer beperkt. Deze varianten worden dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

Variant	Stroombaan vrij?	KRW-watertype		
		R4	R5	R6
Vlechtwerken	nee	+	+	
Losse bomen	nee / ja		+	+
Stammen	ja	+	+	
Stobben	ja	+	+	+
Langshout	ja	+	+	+

De genoemde varianten kunnen ook in naast elkaar worden toegepast in een traject, bijvoorbeeld vlechtwerken in combinatie met stammen. Dergelijke combinaties zijn hier niet verder uitgewerkt. Een combinatie van varianten levert naar verwachting meer variatie in habitats op en meer kans op het voorkomen van kenmerkende macrofauna- en vissoorten.



Dood hout varianten v.l.n.r.: vlechtwerken, losse bomen, stammen, stobben en langshout.

2.2 Randvoorwaarden alle varianten

- Het hout wordt bij voorkeur onder de gemiddelde waterlijn aangelegd (of onder de onderste beheermarge); bij hogere waterstanden kan het water er dan overheen stromen [3,11]
- Dood hout kan het beste worden toegepast op beschaduwde locaties met een permanente stroming, zie ook onder het kopje ‘randvoorwaarden’.
- Stromende wateren worden gekenmerkt door een steil talud boven de waterlijn (1:1,5 à 1:2) tot aan de overstromingszone. Hierdoor neemt de stroomsnelheid toe bij hogere afvoeren en kan opgehoopt fijn zand, slib en plantenmateriaal worden afgevoerd. Er is sprake van permanente stroming in de zomer, maar in ieder geval in de winter (gemiddeld ≥ 14 cm/s). Dit is van belang voor het ontstaan van een gevarieerd bodemsubstraat [4].
- Voor het creëren van voldoende beschaduwing is de aanwezigheid van een aaneengesloten strook met bomen en struiken direct langs de beek noodzakelijk. Deze zone staat bij voorkeur aan de zuidzijde van de beek. Voor het creëren van voldoende beschaduwing zijn meestal ook bomen en struiken aan de overzijde van de beek noodzakelijk. De bomen en struiken zorgen ook voor de aanvoer van blad en takken/ dood hout naar de waterloop;
- Daarnaast is het van belang dat er sprake is van een stabiele morfologie, ofwel de afwezigheid van grootschalige erosie en sedimentatieprocessen. Dit is niet altijd het geval direct na uitvoering van grootschalige herinrichtingsprojecten en vergravingen. In die situaties is de kans groot dat het dood hout wegspoelt (erosie) of juist bedolven raakt onder het zand (aanzanding). Dan kan beter worden gewacht tot het profiel gestabiliseerd is, meestal vanaf ca. 3 jaar na aanleg.
- Het beekhout bestaat bij voorkeur uit stevige takken, stobben en stronken van autochtoon hardhout (eik, beuk, es en iep). Dit hout blijft het langste liggen. Hout van elzen, populieren en berken kan ook, maar vergaat sneller. Wilgen lopen gemakkelijk weer uit [1,3,11,19]. Daarnaast spelen andere argumenten bij het kiezen van de houtsoort, zoals praktische haalbaarheid en kosten. Het is niet nodig om tegen hoge kosten een specifieke boomsoort van ver weg aan te voeren als er in de buurt andere bomen beschikbaar zijn tegen veel lagere kosten [19].
- Er is weinig bekend over de (minimale) benodigde hoeveelheid dood hout in beken. Onder natuurlijke omstandigheden bestaat ca. 25% van de bodem van een boven-middenloop in bos uit dood hout. In een meer open landschap is alleen hout aanwezig als gevolg van transport van bovenstrooms en is dit aandeel lager. In natuurlijke benedenlopen neemt het aandeel dood hout met ongeveer de helft af. Hier liggen houtstructuren vooral aan de oever [1,2].
- In het protocol ‘inbrengen dood hout in de beek’ worden meerdere dood hout locaties (ca. 10) binnen een lengte van 500 meter waterloop geadviseerd (11).

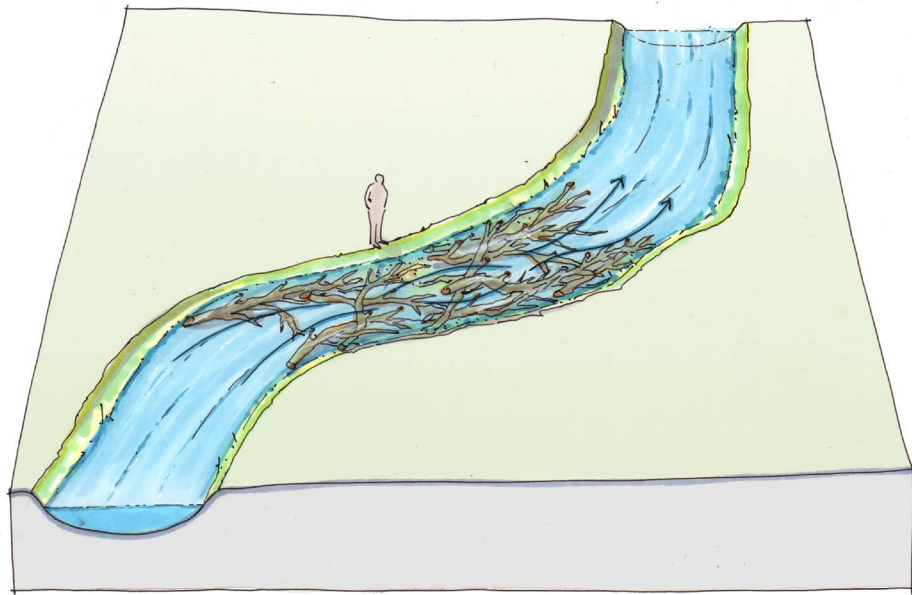
- Dood hout wordt waardevoller naar mate het langer in het water ligt. In de loop van de tijd verandert de structuur van het hout verandert door een wisselwerking van de afbraak van hout door schimmels en bacteriën, erosie door het water en schraap- en knaagactiviteiten van macrofauna [1]. Daarom kan dood hout het beste worden aangevuld; het hoeft in ieder geval niet te worden ‘vervangen’.
- Om te voorkomen dat dood hout op drift gaat bij hoogwater en dat er takken afbreken die oevers, kunstwerken en schepen kunnen beschadigen, is soms verankering nodig [19]. In kleinere bovenlopen is de kracht van het water beperkt en is verankering doorgaans niet nodig. In grotere bovenlopen en middenlopen is een ‘lichte’ verankering meestal voldoende, bijvoorbeeld door het gedeeltelijk ingraven van dood hout in de oever. Meer benedenstrooms, vooral op plekken met grote piekafvoeren, is verankering van bomen, stammen en stobben noodzakelijk. Op deze plekken spoelen stammen en bomen gemakkelijk uit.

2.3 Kansenkaarten

Ter ondersteuning van de locatiekeuze voor het toepassen van dood hout zijn kaarten ontwikkeld waarop is aangegeven waar dood hout in principe kan worden toegepast of kan blijven liggen. Deze kaarten zijn te raadplegen via Geoweb.

De variant 'vlechtwerken' bestaat uit een netwerk van dunne en dikkere takken en stammen overdwers in de stroomgeul. Hierdoor ontstaat een complexe structuur van dichtere kernen en dunne takkenbossen; het water stroomt vooral langs deze dichte kernen en door de dunne takkenbossen [21]. Het vlechtwerk ontleent zijn stabiliteit aan de (langere) takken die schuin overdwers en gedeeltelijk in of op de oever liggen.

Het vlechtwerk is de meest natuurlijke dood hout variant en wordt gekenmerkt door een hoge structuurvariatie onder water. Dit veroorzaakt een grote variatie aan stroomsnelheden en bodemsubstraten. Daarnaast vangen vlechtwerken blad, detritus en ander organisch materiaal in. Aan de randen van het pakket bevindt zich 'vers' materiaal; dieper in het pakket is dit oud en verder verteerd. Hierdoor is er veel organisch materiaal aanwezig in verschillende stadia van decompositie. Dichte vlechtwerken kunnen in de herfst veel blad invangen waardoor



ze opstuwing en aanzanding kunnen veroorzaken. Daarnaast zijn ze afhankelijk van aanvoer van nieuwe takken, omdat de dunne takken relatief snel vergaan [1].

Aandachtspunten voor de uitvoering:

- Het vlechtwerk bestaat uit boomstammen (diameter > 20 cm) en takken (diameter > 5 cm) die in de beek worden geplaatst. Door de boomstammen en takken onderling te 'verweven' tot een netwerk krijgt het vlechtwerk extra stevigheid. Indien nodig worden enkele dikkere boomstammen in de oever verankerd. Bij de keuze van het hout worden ook kronen gebruikt. Dit zorgt voor extra stevigheid en structuur [2,11].
- Een vlechtwerk omvat minimaal 75% van de beekbreedte, maar bij voorkeur de gehele breedte, en beslaat een oppervlak van circa 10-15 m². Dit komt neer op een bedekking van 20-25% van de beekbodem in het betreffende beekgedeelte [11].
- Het ingerichte traject bevat bij voorkeur > 10 'patches' met een onderlinge afstand van 25-40 m; het traject is dan minimaal 500 m lang [11].
- De positionering van het hout is zodanig dat de stroomdraad niet langs de oevers ligt, maar verspreid voor het vlechtwerk loopt [2,11].
- De vlechtwerken worden bij voorkeur grofmazig (niet al te dicht) aangelegd. Hierdoor raakt het vlechtwerk niet snel verstopt en is sprake van weinig tot geen opstuwing. Er zijn ook situaties waarin opstuwing juist gewenst is, bijvoorbeeld ten behoeve van een vertraagde afstroming,

- een gewenste grondwaterstandsverhoging of in combinatie met zandsuppletie (afname van de stroomsnelheid waardoor zand afgezet wordt). In die gevallen heeft een fijnmaziger (dichter) vlechtwerk de voorkeur.
- De vlechtwerken worden bij voorkeur onder de gemiddelde waterlijn aangelegd; bij hogere waterstanden kan het water er dan overheen stromen [3,11]. Hierdoor wordt een versnelde overstroming van aangrenzende percelen voorkomen. In de oever blijven enkele uitstekende takken zitten voor het uitsluipen en landen van insecten (brug tussen water en land/lucht) [1].
- Enig blad aan de takken is geen probleem, maar voorkom het gebruik van takken die nog volledig in het blad zitten (dit zorgt voor organische belasting van het water en leidt tot teveel opstuwing).
- Zorg voor tijdige aanvulling van de takken. Liggend hout hoeft niet te worden verwijderd ('vervangen').

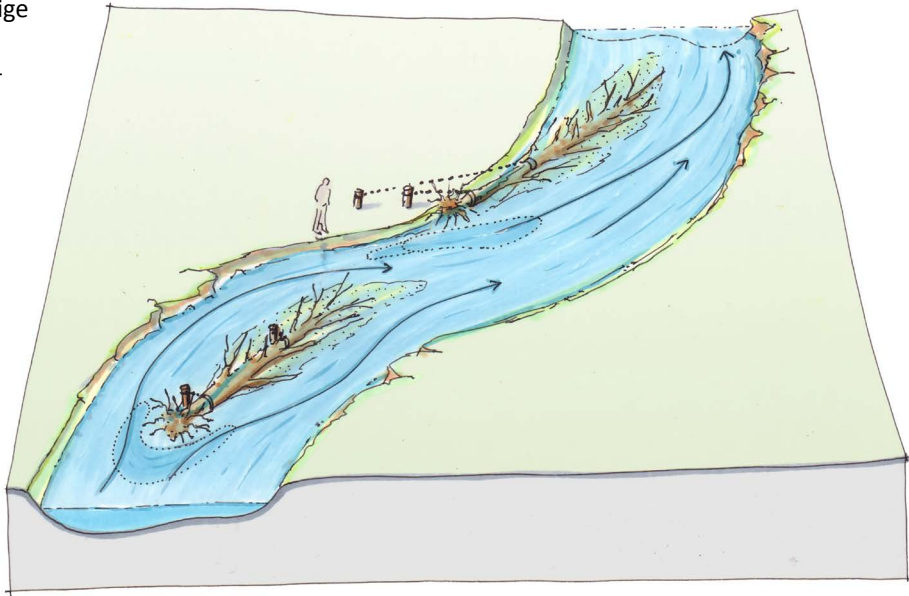


Vlechtwerk in de Leuvenumse beek, al enigszins vergaan (foto Bart Reeze).



Opstuwing door ophoping van dood hout en invangen van blad (foto Bart Reeze).

Bij de variant ‘losse bomen’ worden volledige bomen in het water geplaatst, inclusief de wortels. De kruin van de boom is benedenstrooms gericht, de wortels bevinden zich aan de stroomopwaartse zijde. De bomen kunnen in de stroomdraad worden gelegd of in de oever. Door de bomen in een hoek ten opzichte van de oever te leggen, wordt de stroming afgebogen en de oever enigszins beschermd tegen erosie [18,22]. Losse bomen worden doorgaans toegepast in grotere waterlopen. De bomen dient goed verankerd te worden, om wegdrijven door onderspoeling te voorkomen.



Losse bomen zorgen voor extra structuur onder water. Het hout zorgt voor extra leefgebied en nieuwe schuilplaatsen voor aquatische fauna. Daarnaast zorgt de stromingsvariatie rond de boom voor een grotere variatie aan bodemsubstraten. Aan de bovenstroomse zijde van de boom kan er opstuwing optreden, afhankelijk van de breedte van de watergang

en de omvang van de wortelkruit. Op plekken waar de stroomsnelheid toeneemt, kunnen spoelkuilen ontstaan. Bij een verhoogde stroming langs de oevers is er kans op oevererosie [18].

Aandachtspunten voor uitvoering:

- Toepassing losse bomen is alleen mogelijk in vrij meanderende waterlopen (waterlopen zonder vast leggerprofiel).
- De bomen zijn compleet met kroon en wortelkruit. Dit levert het meest gevarieerde habitat. De takken geven de 3-dimensionale structuur onder water, die onder andere nodig is als schuilplaats voor jonge vis. De stam levert oppervlak met ruwe bast. De wortels geven weer andere variatie met holtes en uitstekende delen [19].
- Bij onvoldoende beheerruimte is het toegestaan om de kruit en kruin (deels) te verwijderen om overmatige opstuwing te voorkomen.
- De stamdiameter bedraagt bij voorkeur > 0,4 m. Dikkere bomen blijven langer intact en hebben meer effect op de bodemmorfologie [19].
- Vanuit ecologisch oogpunt wordt de boom bij voorkeur dwars of schuin op de stroomrichting geplaatst omdat hiermee de morfologische effecten op de bodem het grootst zijn. Bij plaatsing parallel aan de stroomrichting wordt de stroming het minst belemmerd [19].
- De bomen liggen bij voorkeur niet dieper dan 2 meter i.v.m. lichtdoordringing die nodig is voor de ontwikkeling van bodemalgen op het hout [19].

- Takken die boven water uit steken zijn gunstig voor de zichtbaarheid van het hout en voor het uitsluipen en landen van insecten op de takken [19], maar kunnen indien nodig ook worden afgezaagd.
- Het heeft de voorkeur enkele bomen als een cluster bij elkaar te leggen in plaats van een reeks bomen ver van elkaar. Er ontstaat dan een robuustere eenheid voor natuur die ook sneller leidt tot variatie in stroming en substraat [19].



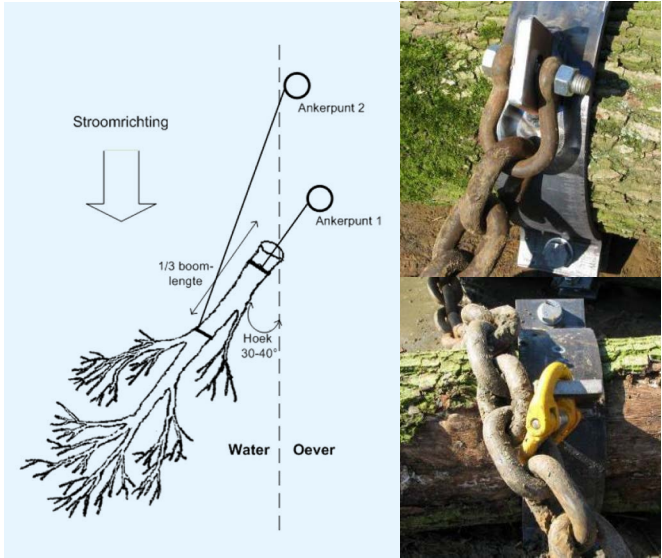
De boom met kruit, stam en takken wordt geplaatst met de kruin in stroomafwaartse richting [19].



Stalen ketting door oog in de boom (links) en hijsoog aan betonplaat als ballast (rechts) [19].



Plaatsen van een boom met mobiele kraan (links) en plaatsen van een ankerstam met spuitlans en kraan (rechts) [18].



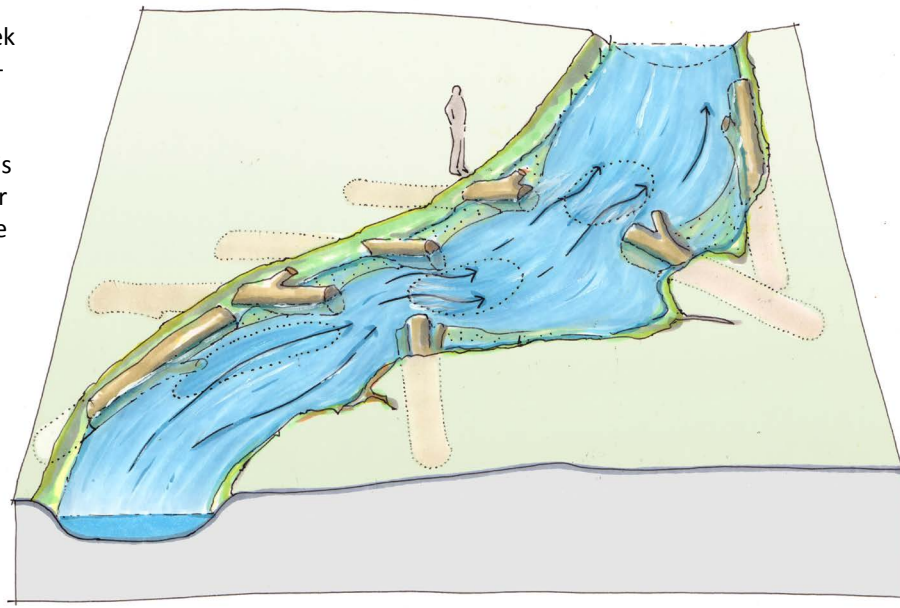
Plaatsing van een boom onder een hoek ten opzichte van de oever (links) en bevestiging van de ketting aan boom of ankerpunt met behulp van beugels (rechts) [18].

- Afhankelijk van de kenmerken van de locatie wordt de meest geschikte methode voor verankering ontworpen [19,22]. Tot nu toe worden de volgende bevestigingsmethoden toegepast [19]:
 - Met kettingen of staalkabels aan palen in het water;
 - Met kettingen of staalkabels aan palen op de oever;
 - Met kettingen of staalkabels aan ballast.
- Palen: gebruik houten palen/ stammen of stalen balken (H-profiel) van voldoende lengte. Houten palen/stammen dienen voldoende dik te zijn (minimaal de dikte van de stam van de boom in het water). De lengte van de palen is afhankelijk van de stevigheid van de grond waar ze inkomen en de grootte van de boom in het water. Voldoende diep in de bodem aanbrengen: 2/3 in de bodem, 1/3 in het water (houd rekening met evt. bodemerosie) [18,19]. Houten palen en stammen indrukken met hulp van een pomp met een spuitlans of met een trilblok. Gedurende het indrukken van de paal/stam wordt met de spuitlans onder de paal/stam gespoten om het indrukken te bevorderen [18]. Stalen balken intrillen met behulp van een trilblok aan de rupskraan [19].
- Bevestiging aan de boom: door de stam worden één of twee stalen pennen geboord, met aan beide zijden een oog (ogen zijn vast gelast). De ketting gaat door deze ogen waardoor de ketting niet over de stam kan verschuiven [19]. Ook kan een beugel om de stam van de boom worden geplaatst [18].
- Ballast: bijvoorbeeld met betonplaten. Het betonvolume van de ballastelementen varieert tussen 50 en 30% van het te stabiliseren houtvolume (afhankelijk van de houtsoort). Om de boom goed te stabiliseren moet dit volume over twee ballast-elementen verdeeld worden. Door de betonplaat is een draadeind bevestigd met een borgmoer,

- aan de andere zijde zit een draaibaar hijsoog waar de ketting mee verbonden is. De betonplaten hebben nog twee extra hysogen voor het afzinken van de betonplaten met de boom [19].
- Bij het plaatsen van een boom onder een hoek ten opzichte van de oever (30-40°) zijn twee ankerpunten in de oever nodig. Ankerpunt 1 komt in het verlengde van de stam en wordt aan het achtereind van de stam bevestigd. Ankerpunt 1 zorgt ervoor dat de boom niet weg kan drijven. Ankerpunt 2 wordt stroomopwaarts van de boom geplaatst en bevestigd op 1/3 boomlengte gerekend vanaf de onderkant van de stam. Ankerpunt 2 zorgt ervoor dat de hoek waaronder de boom ligt juist blijft [18].

Stammen

Stammen zijn dikke boomstammen die (gedeeltelijk) in of langs de oever van de beek worden gelegd. De stammen kunnen in verschillende configuraties worden aangelegd: loodrecht op de oever, schuin of langs de oever. Het opstuwend effect van stammen is erg afhankelijk van de uitvoering, maar over het algemeen beperkt (1-3 cm) [22]. Bij lage afvoer is het opstuwend effect minimaal. Stammen zijn een duurzame en robuuste optie omdat het hout lang meegaat en goed verankerd kan worden in de oever. Daarnaast kan het water makkelijk over en tussen de stammen door stromen en vangen de stammen relatief weinig (van bovenstrooms aangevoerd) materiaal in [1].



De stammen zorgen in de eerste plaats voor extra aanhechtings-substraat (hout). Daarnaast zorgen de stammen voor een vernauwing van het stroombed of afbuiging van de stromingsrichting, waardoor variatie van stroming en bodemsubstraten kan ontstaan. In de sneller stromende delen ontstaan spoelkuilen of komen grof zand of grind aan de oppervlakte; uitgespoeld zand komt even

verderop in kleine zandbankjes terecht. In luwtes ontstaan ophopingen van slib en blad. Diverse soorten profiteren van deze toegenomen variatie van habitats. Daarnaast biedt (kleinschalige) oevererosie plaats aan specifieke oeverplanten [21,22,23].

Aandachtspunten voor uitvoering:

- Stammen (diameter > 30 cm) worden afwisselend op de linker- en rechteroever van de beek aangebracht. Hierbij worden de stammen deels ingegraven in de oever [21,22,23].
- Bij hoge stroomsnelheden en/of een bodem van fijn zand is er een risico dat het zand onder de stammen erodeert. Dit kan worden voorkomen door de stammen voldoende diep in te graven in de zandbodem (tot het deel waar de stam het breedste is) en/of de stroomdraad niet te smal te maken [22].
- Voor de stabiliteit van het talud is de ontwikkeling van een houtige of een kruidenrijke overbegroeiing van belang [22].
- Door stammen in te brengen die niet de volledige breedte van de beek beslaan, zal het doorstroomprofiel beperkter veranderen, waardoor ook de opstuwing beperkt zal blijven [21]. Meerdere kleine stammen veroorzaken minder opstuwing dan stammen over de volledige breedte [21,23].

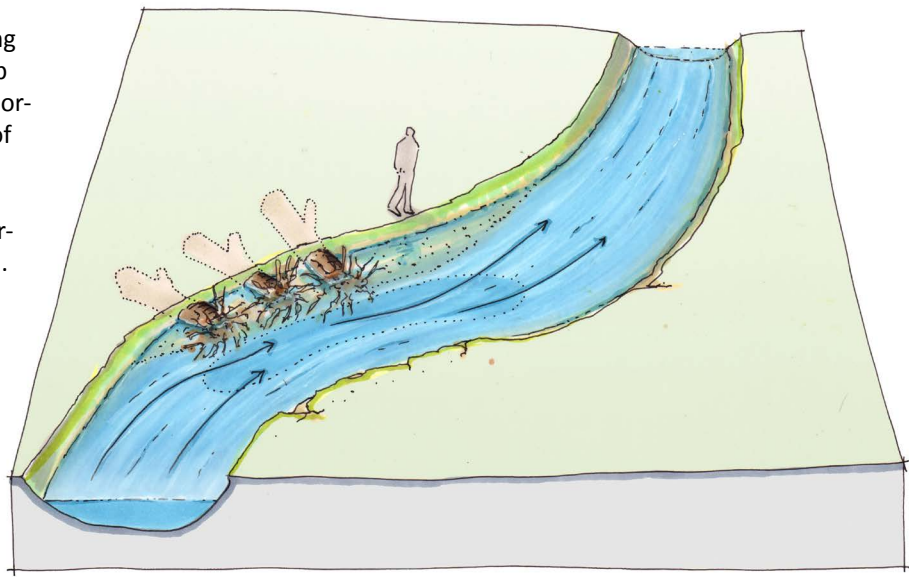


Toepassing van boomstammen in de Snelle loop (foto's waterschap Aa en Maas).

Stobben

Stobben zijn in de oever geplaatste boomstronken, waarbij de wortels in de watergang steken. Deze toepassing is vaak te vinden op plekken waar de loop vrij moet blijven, bijvoorbeeld voor de afvoer of aanvoer van water of voor recreatief medegebruik (kanovaart). Stobben kunnen in de buitenbocht, binnenbocht of afwisselend op de linker- en rechteroever van de beek worden aangebracht [21]. Het opstuwend effect van stammen is erg afhankelijk van de uitvoering, maar over het algemeen beperkt (1-3 cm) [23].

Door het aanbrengen van stobben ontstaat variatie in stroomsnelheid en (bodem)structuur [21]. De wortels vormen een aanhechtingssubstraat en schuilplek voor diverse soorten macrofauna en vissen. Achter de stobben ontstaat soms een sedimentatiezone, die in de loop van de tijd kan verlanden [1]. Daar waar de aanleg van stobben tot een toename van de stroomsnelheid leidt,



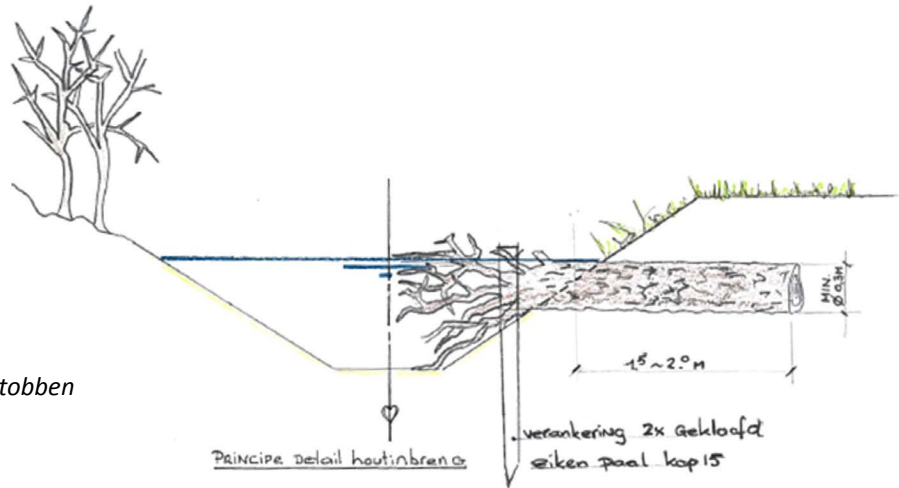
kan grof zand of grind aan de oppervlakte komen of kunnen spoelkuilen ontstaan [22].

Aandachtspunten voor uitvoering:

- Boomstobben worden verankerd met de stam in de oever [2]. De stap heeft bij voorkeur een diameter > 30 cm.
- Plekken waar stobben worden ingegraven zijn gevoeliger voor erosie als gevolg van ingraven. Voor de stabiliteit van het talud is de ontwikkeling van een houtige of kruidenrijke oeverbegroeiing van belang [22].
- Door stobben in te brengen die niet de volledige breedte van de beek beslaan, zal het doorstroomprofiel beperkter veranderen, waardoor ook de opstuwung beperkt zal blijven [21].
- Eventueel worden aanvullend houten palen in de bodem getrild, waartussen de stobben worden aangebracht [21]. De houten palen zijn van duurzaamheidsklasse 2 en

hebben een diameter van ca. 0,2 m en een lengte van ca. 4,0 m (richtwaarden). Twee derde van de paal wordt in de grond aangebracht [23].

- Bij grotere middenlopen en benedenlopen kan de constructie aan de bovenzijde worden afgesloten met staaldraad [19]. Gekruiste palen worden met elkaar verbonden door middel van RVS staalkabel (ø8 mm, lang 2,5 m/st. m) en RVS draad klem [23].
- In combinatie met een laag stammen, takken, wortels en grond(zoden) tot aan de waterspiegel kunnen de stobben worden uitgebouwd tot een 'toe wood-sod mat', zie de illustratie. Dit type structuur is beter geschikt voor het beschermen van de oever [18].



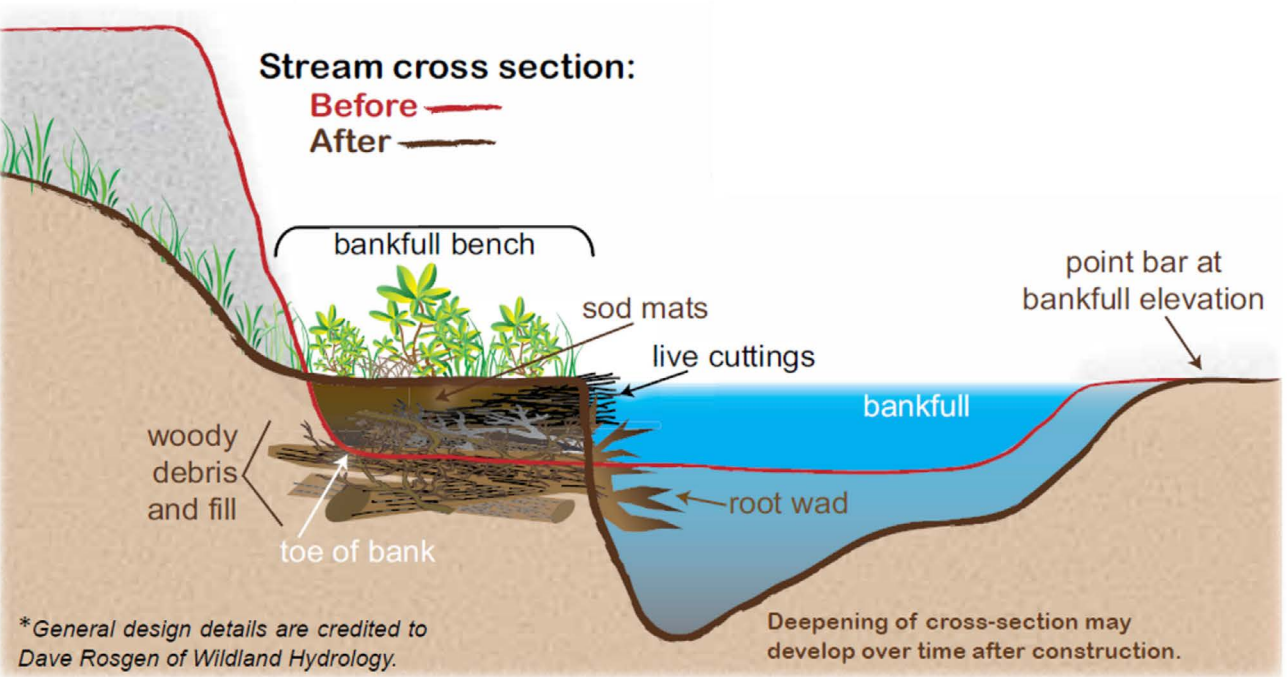
Principe tekening voor het plaatsen bij stobben in de oever van een beek [21].



Stobben langs de Dinkel met verankering van houten palen en staaldraad (foto Esther de Jong).



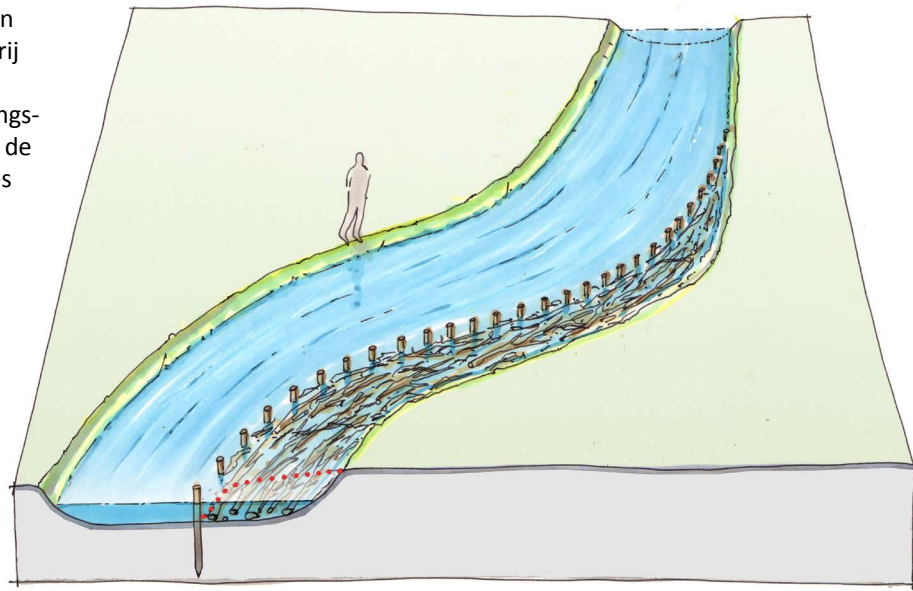
Erosie achter stobben in de Buurserbeek bij het Lankheet (foto Bart Reeze).



Constructie van stobben, gecombineerd met stammen, takken en grondzoden ('toe wood-sod mats') [18].

De variant 'langshout' bestaat uit dunne en dikkere takken die horizontaal achter een rij paaltjes en stammen in de oever worden geplaatst. De takken liggen 'met de stromingsrichting mee' (met de afgezaagde kant aan de stroomopwaartse zijde). Tussen de paaltjes mag het hout licht uitsteken. Deze toepassing is geschikt voor waterlopen waar de loop vrij moet blijven, bijvoorbeeld in aanvoerwateren en kan gemakkelijk over grotere lengtes worden toegepast. De paaltjes houden de takken op hun plaats en zorgen tevens voor een duidelijke markering voor het maionderhoud.

Het langshout zorgt voor een hoge structuurvariatie onder water in de oever. Daarnaast vangt het langshout blad, detritus en ander organisch materiaal in. Het hout zorgt zo voor extra leefgebied en nieuwe schuilplaatsen voor aquatische fauna. De constructie zorgt ook voor een vernauwing van het stroombed, waardoor



variatie van stroming en bodemsubstraten kan ontstaan. De constructie zorgt mogelijk ook voor extra bescherming tegen oevererosie.

Aandachtspunten voor de uitvoering:

- Er is nog geen ervaring met deze variant. Het is van belang om de eerste toepassingen te volgen en ervaringen te delen.
- Gebruik voldoende lange takken (diameter > 5 cm) in los verband en takken die in de beek worden geplaatst. niet aandrukken zodat een dicht pakket ontstaat).
- De takken worden bij onder de gemiddelde waterlijn aangelegd; bij hogere waterstanden kan het water er dan overheen stromen.
- Gebruik van bomen met kluit, boomstammen (diameter > 20 cm), stammen en stobben achter de paaltjes is geen probleem.
- Gebruik voor de paaltjes (onbehandeld) autochtoon hardhout (eik, beuk, es en iep) of ander inheems hout (kastanje).
- Zet de paaltjes niet te dicht bij elkaar en niet in een 'kaarsrechte lijn' (onnatuurlijke aanblik), maar ook niet te ver uit elkaar (zodat de takken er tussenuit schieten), bij voorkeur om de ca. 2-3 meter.
- Zorg dat de paaltjes voldoende ver boven het hout uitsteken (om te voorkomen dat het hout bij hoogwater op drift raakt).



Langshout: lange takken in los verband achter een rij palen (foto Bram Spierings).

3. Referenties

- [1] Verdonshot, R., E. Penning, K. Berends, J. Schoelynck, R. Reitsema en P. Verdonshot, 2021. Aangepast beheer en onderhoud en kleinschalige maatregelen beken. VBNE, Driebergen. Rapport nummer 2021/OBN243-BE.
- [2] Verdonshot, R.C.M., J. Bauwens, B. Brugmans, A. Dees, M. Kits, M. Moeleker, J. de Hoog, M. Scheepens, I. Barten en D. Coenen, 2017. Kennisoverzicht kleinschalige maatregelen in Brabantse beken. STOWA, Amersfoort. Rapportnummer 2017-16.
- [3] Reeze, B., S. Schep, M. Slob, E. Querner en E. van der Kooij, 2020. Bouwen met Natuur maatregelen in beken. Deltafact. STOWA, Amersfoort.
- [4] Reeze, B., A. van Winden en G. Kurstjens, 2021. Ecologische streefbeeld en watersystemen. Eisen voor ecologische inrichting en beheer & onderhoud. Waterschap Aa en Maas, 's-Hertogenbosch.
- [5] Waterschap Aa en Maas, 2016. Beheerplan watersysteem 2016-2021. Waterschap Aa en Maas, 's-Hertogenbosch.
- [6] Waterschap Aa en Maas, 2021. Handboek Onderhoudsvoorzieningen Watersysteem. Waterschap Aa en Maas, 's-Hertogenbosch. Versie 1.1, november 2021.
- [7] Waterschap Aa en Maas. 'Best Practise' invulling uitgangspunten Wijzer onderhoud (dynamisch document).
- [8] Verdonshot, R., M. Moeleker, M. Scheepens, A. van Vugt en B. Brugmans, 2021. Effecten van houtpakketten in beken op de macrofauna. In: H2O-Online 17 juni 2021.
- [9] Waterschap Rijn en IJssel, in prep. Voorbeeldenboek beekhout Boven-Slinge. Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem.
- [10] Verdonshot, R.C.M., B. Brugmans, M. Moeleker en P.F.M. Verdonshot, 2016. Evaluatie van de ecologische effectiviteit van de houtconstructies in de Snelle Loop. In: H2O-Online 27 juli 2016.
- [11] Verdonshot, P.F.M., A. Besse, J. de Brouwer, J. Eekhout, en R. Fraaije, 2012. Beekdalbreed Hermeanderen: Bouwstenen voor de 'Leidraad voor Innovatief Beek- en Beekdalherstel'. STOWA, Amersfoort. STOWA 2012-36.
- [12] Wegman, R., 2015. De opstuwings effecten van dood hout. Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem en TU Twente, Enschede, Nederland. BSc Thesis.
- [13] Makaske en Maas, 2015. Handboek geomorfologisch beekherstel. Leidraad voor een stapsgewijze en integrale ontwerp aanpak. STOWA, Amersfoort. STOWA-rapport 2015-02.
- [14] Rost, J., M. Schipper en F. van Herpen, 2020. Watersysteemrapportage KRW-Waterlichamen Aa en Maas. Royal HaskoningDHV, Amsterdam. BG-7833WATRP2001241239.
- [15] Geertsema, T.J., 2019. Water level and discharge dynamics in human-affected lowland rivers. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen. ISBN 978-94-6395-104-3. DOI 10.18174/49908.
- [16] Eekhout, J., T. Hoitink en P. Torfs, 2013. Invloed van dood hout op rivierstroming. Wageningen University, Wageningen. Presentatie P. Torfs op het Platform Beek- en Rivierherstel op 18 april 2013 in Hierden. 22 sheets.
- [17] Brouwer, J. de, P. Verdonshot en A. Besse, 2013. Beekdalbreed hermeanderen. Technieken om dood hout in te brengen. Presentatie team zoetwater-ecologie.
- [18] Niemeijer, B., 2011. Houtstructuren voor vis in de Overijsselse Vecht, een kansrijke maatregel die bijdraagt aan ecologisch herstel. Tauw, Deventer. Afstudeerscriptie Hogeschool van Hall Larenstein. Projectnummer 4756916. 1 juni 2011.
- [19] Rijkswaterstaat, 2016. Afwegingen bij het plaatsen van rivierhout. Voor initiatiefnemers en uitvoerders. Rijkswaterstaat, s.l. December 2016, DON0416HD148.
- [20] Travaille, A., 2020. Actie en Communicatieplan Bouwen met Natuur 2020-2021. BMN als default voor beekherstel en beheer. Bureau Bovenkamers, Utrecht.
- [21] Dijk, P. van, G. Roelofs, M. de Vos en J. Lenssen, 2016. Beekhout in de Ramsbeek en Leerinkbeek. Ervaringen van de eerste twee jaar. Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem. Tussenrapport, 20 mei 2016.
- [22] FISRWG, 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices. Federal Interagency Stream Restoration Working Group. GPO item no. 0120-A. Sudoc's No. A 57.6/2:EN3/PT 653. ISBN 0-934213-59-3.
- [23] Laperre, R.E., B. Brugmans en M.A.J. Kerkhoff, 2014. Dood hout brengt leven in de Snelle Loop in Gemert-Bakel. In: Land+Water, 1/2, 22-24.
- [24] Gippel, C.J., I.C. O'Neill, B.L. Finlayson en I. Schnatz, 1996. Hydraulic guidelines for the re-introduction and management of large woody debris in lowland rivers. In: Regulated Rivers: Research & Management, vol. 12, 223-236.
- [25] Young, W.J., 1991. Flume study of the hydraulic effects of large woody debris in lowland rivers. In: Regulated rivers: Research & Management, vol. 6, 203-211.

Bijlage 1: Berekening van opstuwing van houtconstructies

Methoden

- Bij de toepassing van dood hout wordt de mate van opstuwing vooraf ingeschat. Hiervoor zijn verschillende manieren beschikbaar [3]:
- Sobek: Door houtpatches te conceptualiseren kan de mate van opstuwing tot op zeker hoogte worden gemodelleerd met behulp van hydraulische software zoals Sobek.
 - 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 Tungelroyse beek [16].
 - Model Geertsema (2019): Parametrisch model, waarmee op basis van afvoer, verhang, beekprofiel en houtpakket-profielen de mate van opstuwing kan worden voorspeld. Het model is gekalibreerd op de Leerinkbeek, Tugelroysebeek, Tongelreep en Ramsbeek [15].
 - CFD (computational fluid dynamics): Voor modeleren van effecten van houtpakketten op de stroming (snelheid en patronen) [18].

Voor- en nadelen

De methoden hebben ieder verschillende toepassingen en verschillende voor- en nadelen.

1D Hydraulische modellen (Sobek):

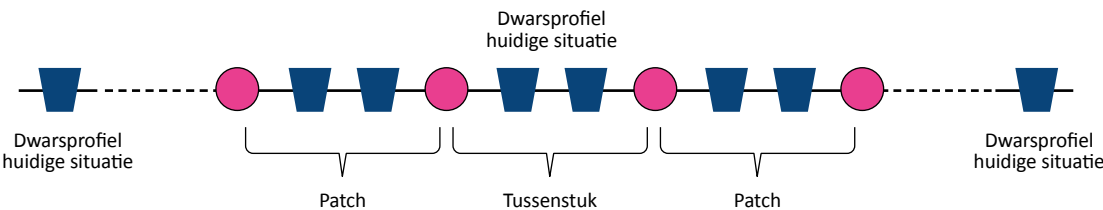
- Voordeel: Modellen zijn vrij goed beschikbaar en zijn niet extreem complex voor hydrologen. De berekende resultaten geven gebied-specifieke inzichten.
- Nadeel: Berekent geen complexe hydrodynamische stroming maar rekent de waterstand uit door middel van de Saint Venant vergelijking.

Parametrische modellen (Torfs en Geertsema):

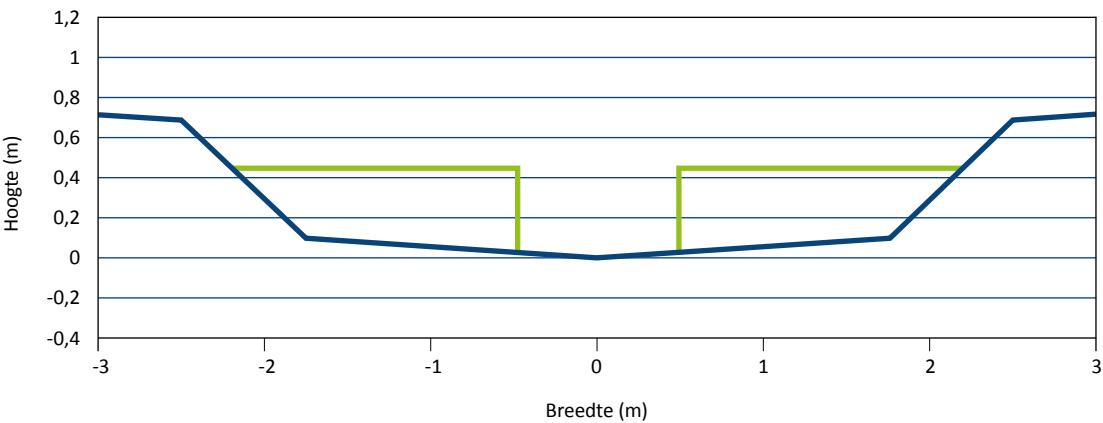
- Voordeel: Makkelijk toepasbaar, ontworpen voor dood hout vraagstukken.
- Nadeel: Resultaat is conceptueel en vertaalt niet direct naar effect op een intergraal systeem.

Complexe Hydraulische modellen (CFD):

- Voordeel: Fysisch meest correct.
- Nadeel: Moeilijk te gebruiken, kost veel data om juist te schematiseren.



Sobek schematisatie. Blauwe blokjes zijn dwarsprofielen, roze cirkels zijn knopen in het model ('connection nodes').



Sobek dwarsprofiel. Blauwe lijn is het oorspronkelijke dwarsprofiel, de groene lijn is de versmalling door een dood hout pakket.

Om overstromingsrisico's te toetsen zijn gebieds-specifieke kenmerken belangrijk. Sobek is wat dat betreft een geschikt model. Wegman heeft voor Waterschap Rijn en IJssel een methode ontwikkeld en gevalideerd voor het schematiseren van dood hout pakketten in de Leerinkbeek. Deze methode is recent toegepast bij Aa en Maas op de Esperloop. De complete methode van Wegman bestaat uit het uitwerken van een taxatieschema van ieder houtpakket op basis van observaties en deze te parametriseren voor het Sobek model.

De voorgestelde methode in Sobek maakt gebruik van een versmalling van het dwarsprofiel, geschematiseerd met dwarsprofielen. Het voordeel van deze methode is dat het houtpakket ('patch') hiermee een lengte krijgt en een hogere ruwheidswaarde toegekend kan krijgen. De schematisatie weerspiegelt de situatie hiermee redelijk goed.

In de afbeeldingen op pagina 22 is de schematisatie weer-gegeven. In de volledige methode van Wegman wordt de patch begrenst door twee knopen 'connection nodes', waarbinnen via twee dwarsprofielen een versmalling wordt geschematiseerd. De versmalling wordt als blokken in het profiel geschematiseerd, waarbij de maximale hoogte de verdrinkingshoogte van de houtpakketten is. In de patch kan een andere weerstandswaarde opgegeven worden. Zo werd bij Rijn en IJssel in het model normaal gesproken Bos en Bijkerk weerstand gebruikt, maar is in de thalweg bij de versmalling Chezy gebruikt, omdat Chezy het meest geschikt is om stroming door vegetatie te berekenen [12].

Hieronder volgt een voorbeeld van het schematiseren van een houtpakket. Ten eerste worden de kenmerken van het houtpakket bepaald:

Lengte houtpakket	10 m
Verdrinkingshoogte houtpakket	0.50 m t.o.v. bodem
Maatgevende doorstroombreedte	1 m

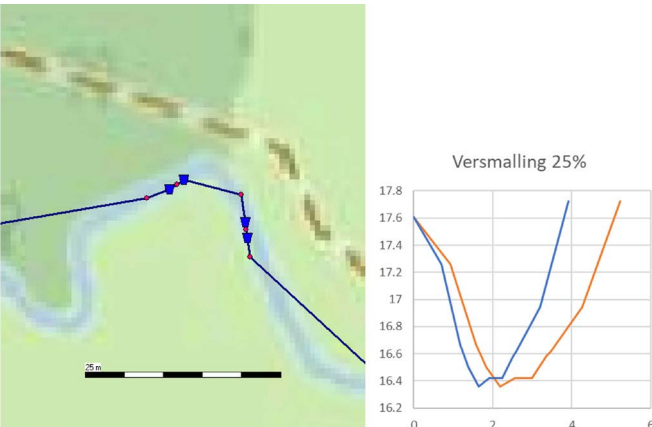
In dit geval bestaat de Sobek schematisatie uit het plaatsen van twee knopen op een afstand van 10 meter, zet hierbij interpolatie over de knoop **aan** (anders moeten er extra dwarsprofielen geplaatst worden met het huidige profiel vlak voor de eerste knoop en direct na de laatste knoop). Binnen de patch dienen er dwarsprofielen geplaatst te worden direct naast de knopen, waarbij het profiel het doorstroom-oppervlak binnen de patch weergeeft: een doorstroombreedte van 1 meter tot een hoogte van 50 cm boven de bodem. Boven de 50 cm vervolgt het oorspronkelijke profiel zich. In de doorstroomzone van 50 cm wordt een andere weerstand toegepast, bijvoorbeeld Chezy, met een waarde die zomerse begroeiing weergeeft. Indien er meerdere patches achter elkaar zijn geplaatst, dan moet er een tussenstuk worden geschematiseerd waarbij het huidige profiel wordt toegepast. Net als bij de patch, is het wenselijk om de dwarsprofielen dichtbij de knoop te plaatsen.

De methode van Wegman heeft een aantal nadelen. Zo is de taxatie en parametrisatie van houtpakketten zeer subjectief. Houtpakketten zijn variabel over de lengte van de waterloop en ontwikkelen zich ook door de tijd (aanzanding, vangen van

meer organisch materiaal, maar ook erosie en afbraak van het organisch materiaal). Het onderzoek van Wegman was gericht op takkenbossen en boomstobben, niet op andere vormen van dood hout. Het is daardoor lastig om een houtpakket te versimpelen tot een paar eigenschappen die geschematiseerd kunnen worden. Het toepassen van deze methode werkt daarom het beste vanuit een theoretisch standpunt voor het bepalen van een orde-grootte van effect.

Voor de Esperloop is de methode van Wegman versimpeld toegepast omdat er geen taxatie van de houtpakketten mogelijk was. Daarom is conceptueel gekeken naar de versmalling van de waterloop door dood hout. Het doel van de berekening was om een gevoel te krijgen van het effect van een lokale versmalling van de waterloop. De volgende versimpelde aanpak is gebruikt:

- Er zijn twee profielen toegevoegd die de versmalling weergeven, met een onderlinge afstand die ongeveer gelijk is aan de gewenste/geschatte lengte van het houtpakket. Het dwarsprofiel is een verschaalde versie van het huidige situatie profiel, waarbij de Y coördinaten (breedte) vermenigvuldigd zijn met de gewenste factor, bijvoorbeeld 0,75 (= doorstroom oppervlak ter hoogte van het houtpakket is 75% van het oorspronkelijke doorstroomoppervlak)
- Vóór het eerste hout-profiel en na het laatste hout-profiel worden nog twee profielen toegevoegd, met het huidige-situatie profiel.
- Tussen iedere twee profielen wordt een rekenpunt geplaatst.



Voorbeeld versimpelde schematisatie in de Esperloop. Links een overzicht van het netwerk met profielen en rekenpunten, rechts het verschaalde profiel (25% versmald, dus schaal factor = 0,75)

Deze versimpelde methode maakt geen gebruik van een variabele weerstand en houdt geen rekening met de overstromingsdiepte van het houtpakket. De berekeningen zijn voor een T10 en T100-situatie uitgevoerd, waardoor er wel water ongehinderd over maaiveld kon stromen indien er inundatie optreed. De methode is niet gekalibreerd noch gevalideerd. Deze versimpelde methode kan als een stresstest of gevoeligheidsanalyse dienen, maar kan niet met zekerheid een voorspelling maken van de hoeveelheid opstuwing bij een bepaald houtpakket.

