

Pilot rivierhout

Verslag van het ontwerpproces 2013-2015

W.M. Liefveld



Bureau Waardenburg bv
Ecologie & landschap

Postbus 365 4100 AJ Culemborg
Telefoon 0345 51 27 10, Fax 0345 51 98 49
E-mail info@buwa.nl www.buwa.nl

Pilot rivierhout

Verslag van het ontwerpproces 2013-2015

W.M. Liefveld

Status uitgave: concept 2

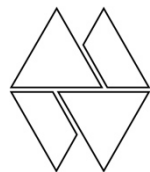
Rapportnummer: 14-270
Projectnummer: 14-383
Datum uitgave: 23-12-2015
Foto's omslag: Naam/namen / Bureau Waardenburg bv
Projectleider: Drs. W.M. Liefveld
Naam en adres opdrachtgever: Rijkswaterstaat Oost Nederland
Postbus 9070, 6800 ED Arnhem
Referentie opdrachtgever: Zaak ID: 31097683
Akkoord voor uitgave:

Paraaf:

Bureau Waardenburg bv is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Bureau Waardenburg bv. Opdrachtgever hierboven aangegeven vrijwaart Bureau Waardenburg bv voor aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

© Bureau Waardenburg bv / Rijkswaterstaat Oost Nederland
Dit rapport is vervaardigd op verzoek van opdrachtgever en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden d.m.v. druk, fotokopie, digitale kopie of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever hierboven aangegeven en Bureau Waardenburg bv, noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Bureau Waardenburg bv is door CERTIKED gecertificeerd overeenkomstig ISO 9001:2008.



Bureau Waardenburg bv
Onderzoek en advies voor ecologie en landschap

Postbus 365 4100 AJ Culemborg
Telefoon 0345 51 27 10
info@buwa.nl www.buwa.nl

Voorwoord

Het project 'Pilot rivierhout' loopt sinds het najaar van 2013. Initiatiefnemer Henk van Rheede (RWS ON) heeft toen een multi-disciplinair, maar klein projectteam samengesteld om na te denken over de toepassing van rivierhout in de Nederrijn-Lek als pilot voor een KRW-maatregel. In de daarop volgende maanden is het projectteam periodiek bij elkaar gekomen en is stap voor stap het project verder ingevuld. De eerste fase ging daarbij vrij snel, want al eind december 2013 werden de eerste bomen door Blaauwendraat Landschapsverzorging in de vistrap bij Maurik geplaatst. In januari en juli van 2014 volgden nieuwe locaties, en ook in 2015 zijn op verschillende plekken bomen aangebracht. Het balletje is gaan rollen. Meteen is ook de monitoring van de ecologische effecten van start gegaan, zodat we nu ook een indicatie hebben of het inderdaad een maatregel is die bijdraagt aan de doelen voor de KRW. Daarnaast is in de afgelopen periode veel praktische ervaring opgedaan die gebruikt kan worden in vervolgpiloten. Inmiddels is de maatregel namelijk opgenomen in de programmering voor de tweede planperiode van de KRW, dus het gaat de komende jaren op meer plekken toegepast worden.

Om het denkproces en de tussenstappen die gemaakt zijn gedurende deze pilot vast te leggen voor toekomstige uitvoerders van rivierhout in de rivier is dit rapport opgesteld. Het vormt een aanvulling op het verslag van de workshop die bij de start van het project is gehouden en de rapportages van de biologische monitoring (zie literatuurlijst). Voor praktische vragen waarvan de antwoorden niet terug te vinden zijn in dit rapport wordt verwezen naar een van de projectteamleden (zie onder).

Projectteam Bomen in de Nederrijn- Lek:

Henk van Rheede (projectleider, RWS ON)

Margriet Schoor (adviseur KRW, RWS ON)

Arjan Sieben (adviseur rivierkunde, RWS WVL)

Prisca Duijn (adviseur ecologie, RWS WVL)

Wijnand Blaauwendraat (uitvoerder, Blaauwendraat Landschapsverzorging)

Miguel Dionisio Pires (adviseur ecologie Deltares)

Alexander Klink (onderzoeker macrofauna, Hydrobiologisch adviesbureau Klink)

Wendy Liefveld (adviseur rivierecologie, Bureau Waardenburg)

Inhoud

| | |
|--|----|
| Voorwoord | 3 |
| Samenvatting | 8 |
| 1 Inleiding | 11 |
| 1.1 Aanleiding | 11 |
| 1.2 Voortraject | 13 |
| 2 Planvoorbereiding | 14 |
| 2.1 Doelen Kaderrichtlijn Water | 14 |
| 2.2 Eisen scheepvaartveiligheid | 15 |
| 2.3 Berekeningen stabilisatie met ballast (tekst Arjan Sieben) | 17 |
| 2.4 Onderzoeksvragen | 19 |
| 2.5.1 Vragen rivierbeheer (tekst Arjan Sieben) | 20 |
| 2.5.1 Vragen Kaderrichtlijn Water | 24 |
| 3 Selectie locaties | 25 |
| 3.1 Riviertrajecten | 25 |
| 3.2 Pilotlocaties | 26 |
| 4 De praktijk: het plaatsen van de bomen | 32 |
| 4.1 Het basismateriaal: de bomen | 32 |
| 4.2 Werkwijze plaatsen bomen | 33 |
| 4.2.1 Transport | 33 |
| 4.2.2 Verankering aan palen (Everdingen en Maurik) | 34 |
| 4.2.3 Verankering op diepe plekken (Wageningen) | 37 |
| 4.2.4 Bomen in riviercorrigerende constructies | 38 |
| 4.2.5 Overige locaties | 39 |
| 4.2.6 Nieuwe plannen | 41 |
| 5 Conclusies en aanbevelingen | 43 |
| 5.1 Conclusies | 43 |
| 5.2 Aanbevelingen | 44 |
| 5.3 Kostenindicatie | 44 |
| 5.4 Juridische zaken en beheer | 45 |
| 7 Literatuur | 46 |

Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht locaties pilot rivierhout

Bijlage 2: Peilfluctuaties en stroomsnelheden Nederrijn Lek

Bijlage 3: Overzicht monitoringsbehoefte rivierkunde

Bijlage 4: Monitoringsvoorstel macrofauna

Bijlage 5: Samenvatting resultaten ecologische monitoring

Bijlage 6: Pilotlocatie Willige Langerak

Bijlage 7: Pilotlocatie De Horde

Bijlage 8: Voorstel rivierhout Lent

Bijlage 9: Rivierhout langsdam Waal

Bijlage 10: Hand out rivierhout

Bijlage 11: Communicatie producten rivierhout

Samenvatting

Rijkswaterstaat heeft als pilotproject dode bomen onder water verankerd op enkele plaatsen in de Rijn. Dit kan een bijdrage leveren aan de doelen voor de Kaderrichtlijn Water. Belangrijkste randvoorwaarde: de scheepvaart mag er geen last van hebben.

Rivierhout is zeldzaam

Doordat oobos grotendeels uit onze uiterwaarden is verdwenen en dode bomen en grote takken door Rijkswaterstaat uit het water wordt verwijderd, ontbreekt deze natuurlijke structuur in de rivier. Rivierhout vormt echter belangrijk habitat voor vissen en macrofauna. In Nederlandse beken en buitenlandse rivieren heeft de herintroductie van hout al bewezen een succesvolle maatregel te zijn (Verdonschot *et al* 2012).

Vanwege risico's voor de scheepvaart zijn nog niet eerder bomen als ecologische maatregel in een bevaarbare rivier aangebracht onder water. Wel zijn omgevallen bomen op de oever verankerd (Maas) en is in het verleden hout in verschillende rivierkundige constructies toegepast. Deze leveren slechts minimale ecologische verbeteringen op. Daarom is Rijkswaterstaat een pilot gestart om te onderzoeken of complete bomen als rivierhout veilig aangebracht kunnen worden in een rivier en of deze maatregel een bijdrage kan leveren aan de KRW doelen. Voor de pilot is in eerste instantie gekozen voor de Lek en de Nederrijn. Een gestuwd riviertraject met relatief rustige omstandigheden en een relatief beperkte scheepvaartfunctie. Gunstige uitgangspunten voor een proeftuin. Later is daar ook nog een nevengeul in de IJssel bij gekomen, ook veilig voor de interactie met scheepvaart.

Pilot project

De pilot is uitgevoerd door bomen te plaatsen op verschillende locaties in verschillende riviertrajecten, die verschillen in waterdiepte, stroomdynamiek en golfwerking. Doel is hiermee te onderzoeken onder welke omstandigheden de bomen het grootste effect hebben. Het is belangrijk dat de bomen, ook bij hoogwater, op hun plek blijven liggen. Het bepalen van een geschikte bevestigingsmethode is dan ook een belangrijk onderdeel van deze pilot. Op de volgende typen locaties zijn bomen verankerd:

- In een kribvak , achter een rijshouten vooroever (Lek);
- In een kribvak, op drie verschillende dieptes, inclusief een diepe erosiekuil (Nederrijn);
- In een éézijdig aangetakte strang (Lek);
- In een vistrap (Nederrijn-Lek);
- In riviercorrigerende constructies (Lek);
- In een tweezijdig aangetakte nevengeul (IJssel)¹.

¹ Deze locatie is geen onderdeel van de pilot, maar is uitgevoerd door Waterschape Vallei en Veluwe. De biologische monitoring van deze locatie is wel meegenomen in de pilot rivierhout.

Voor de verankering zijn verschillende methodes gebruikt, afhankelijk van de locatie. Op niet al te diepe plekken (< 3m) zijn de bomen tussen stalen balken gelegd waaraan ze verankerd zijn. Op plekken waar niet in de waterbodem getrild kon worden zijn de bomen met kettingen verankerd aan palen op de oever. Op hele diepe locaties (ontgrondingskuilen) zijn betonplaten als verzwaring gebruikt.

Monitoring

Om het effect op de KRW-doelen te bepalen zijn vis en macrofauna twee opeenvolgende jaren bemonsterd. De visbemonstering is uitgevoerd met verschillende vistuigen, aangevuld met video opnames onder water. Op de ondiepe locaties zijn, vooral in de buurt van de takken, hoge concentraties juveniele vissen gevonden. De visgemeenschap in de kribben wordt gedomineerd door de uitheemse zwartbekgrondel. De visgemeenschap rondom de bomen is gelijkmatiger verdeeld, en bestaat uit veel meer inheemse soorten, waardoor de biodiversiteit hoger is. De vissen gebruiken de bomen om er te schuilen en te eten. Er zijn ook paaiende vissen waargenomen.

Ook voor de macrofaunabemonstering zijn verschillende methoden uitgeprobeerd. Zo is een hele boom uit de vistrap getild en afgespoeld, maar zijn ook bemonsteringsmethoden met deelmonsters uitgeprobeerd. Ook is een onder waterstofzuiger gebruikt om de macrofauna onder water van de bomen af te zuigen. Op de bomen zijn hoge aantallen kenmerkende riviersoorten gevonden, waar onder kokerjuffers en dansmuggen, die ontbreken op de onderzochte stortstenen in de rivier. Er zijn zelfs enkele soorten aangetroffen waarvan we dachten dat ze in Nederland uitgestorven waren. De eerste fase van kolonisatie verloopt dus voorspoedig. De volgende stap is het volgen van dit proces, waarbij het spannend wordt of de inheemse fauna op de bomen zich kan handhaven tegen de dominantie van exoten.

Conclusie

De pilot laat zien dat rivierhout, ook (of juist?) in de sterk gereguleerde Nederlandse rivieren, een belangrijke meerwaarde heeft voor het onderwaterleven. Het is bovendien een relatief goedkope maatregel die ook als extraatje aan inrichtingsmaatregelen als nevengeulen of oeverinrichting toegevoegd kan worden. Als de bevestigingsmethode ook in de toekomst robuust blijkt, kan de maatregel mogelijk ook uitgerold worden in vrij stromende riviertrajecten. Daar verwachten we nog meer positieve effecten omdat dan ook morfologische processen een rol gaan spelen en er meer kenmerkende riviersoorten voorkomen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nederrijn-Lek

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het in stand houden van de belangrijkste functies van de Rijkswateren. De drie basisfuncties zijn veiligheid, voldoende water en schoon en gezond water. Daarnaast is de scheepvaartfunctie belangrijk. Het beheer van Rijkswaterstaat is afgestemd op deze functies. De functie schoon en gezond water is grotendeels verankerd in de (Europese) Kaderrichtlijn Water (KRW). De juridische aspecten daarvan zijn in Nederland geïmplementeerd in de Waterwet. De KRW heeft ook een uitvoeringscomponent omdat allerlei maatregelen gedefinieerd zijn om de doelen voor waterkwaliteit te realiseren. Deze maatregelen zijn vastgelegd in het Beheerplan Rijkswateren (BPRW, Rijkswaterstaat 2009).

De kwaliteit van de Rijkswateren (in de KRW-terminologie 'waterlichamen' genoemd) is nog niet voldoende. Dit wordt jaarlijks beoordeeld op chemische en ecologische aspecten, volgens een vastgesteld beoordelingskader (van der Molen *et al.* 2007). De maatregelen die in elk waterlichaam uitgevoerd worden moeten hier verandering in brengen. De eerste planperiode loopt van 2010 tot 2015. In deze periode geldt vooral een inspanningsverplichting: zijn de geplande maatregelen ook daadwerkelijk uitgevoerd? Voor de tweede planperiode (2016-2021) geldt een resultaatsverplichting: de kwaliteitsdoelen moeten nu ook echt gehaald worden. Als dat nog niet overal is gelukt, is er nog een derde planperiode (2021-2027) om de laatste puntjes op de i te zetten.

| | Huidige toestand 2015 | GEP | Matig | Ontoereikend | Slecht |
|------------|-----------------------|------|-------|--------------|--------|
| macrofyten | 0,35 | 0,42 | 0,28 | 0,14 | 0,00 |
| macrofauna | 0,29 | 0,48 | 0,32 | 0,16 | 0,00 |
| vis | 0,12 | 0,17 | 0,11 | 0,06 | 0,00 |

Tabel 1.1 KRW-score van het waterlichaam Nederrijn-Lek voor 2015. De kleur geel indiceert 'matig', oranje is ontoereikend. Het GEP is de doelstelling, de andere kolommen geven de maatlatgrenzen (ondergrens) voor de andere toestandsklassen (bron: RWS WVL).

De eerste deelprojecten van de pilot rivierhout zijn uitgevoerd in het waterlichaam Nederrijn-Lek. Dit waterlichaam scoort nog niet voldoende (tabel 1.1). Daarom is een aantal verbetermaatregelen ingepland. In de Nederrijn haken deze grotendeels aan op reeds geplande Ruimte voor de Rivier en NURG-projecten. In de Lek zelf staan nog geen maatregelen gepland. De maatregel 'verbetering oevers en kribvakken' (IN05) die voor de tweede planperiode geprogrammeerd staat zou hier wel uitgevoerd kunnen worden. Maar hoe?

In het verleden (2005) zijn in de buurt van Everdingen aan beide oevers van de Lek rijshouten vooroevers aangebracht. Doel is hiermee de nadelige effecten van golfwerking als gevolg van scheepvaart te mitigeren. De verwachting was dat hiermee de waterplanten beter tot ontwikkeling zouden kunnen komen en in hun kielzog ook vis en macrofauna zouden kunnen profiteren. Monitoringsresultaten laten echter zien dat de vooroevers geen sleutelfactor zijn voor de waterplantenontwikkeling: er was geen duidelijk verschil tussen de onbeschermden kribvakken en de kribvakken met vooroevers (Liefveld & Bak 2012).

Om de kwaliteit van het waterlichaam Neerrijn-Lek te verbeteren moeten dus andere maatregelen bedacht worden. Omdat de Lek gestuwd is, is de stromingsdynamiek zeer beperkt. Dit is een nadeel omdat de meeste kenmerkende riviersoorten hier juist behoefte aan hebben. Een ander nadeel is dat de waterstanden op zich stabiel zijn, maar toch geregeld sterk kunnen zakken wanneer de stuwen gestreken worden. Dit gebeurt vaak voorafgaand aan een verwachte afvoerpiek, of in geval van strenge vorst. In die gevallen kunnen de kribvakken helemaal droogvallen. Als dit langer dan enkele dagen duurt zal dit de groei van waterplanten beperken. Deze lastige randvoorwaarden vormen het kader voor herstelmaatregelen in de Lek.

Uit studies in beken en rivieren blijkt dat het aanbrengen van rivierhout in het water een flinke verbetering van de ecologische kwaliteit kan opleveren (Verdonschot *et al.* 2012, Klink 2010). Zowel vissen als ongewervelden profiteren van deze structuren, die vaak ook de morfologische diversiteit vergroten. De maatregel is relatief goedkoop en makkelijk uitvoerbaar: er zijn geen grootschalige graafwerkzaamheden of ingewikkelde constructies voor nodig. Het zou dus een kans kunnen zijn om met het aanbrengen van rivierhout de ecologische kwaliteit van de Lekoevers te verbeteren. Vanuit het perspectief van rivierhout in de rivier is de Nederrijn-Lek niet de meest ideale plek voor een hoog ecologisch rendement, omdat het een laagdynamisch riviertraject is. Vanuit de Nederrijn-Lek zelf beredeneerd is het toch een logische maatregel op deze plek omdat juist hier weinig andere mogelijkheden voor KRW-maatregelen zijn. In deze fase is het doel bovendien vooral om praktische ervaring op te doen en niet om het hoogst mogelijke ecologische rendement te scoren.

Stromende rivieren

Na de uitvoering van de eerste pilots in de Nederrijn-Lek (2013-2014) is de maatregel in 2014-2015 ook toegepast in nevengeulen langs de IJssel (Aersoltweerde) en de Waal (Hurwenen). Deze locaties liggen in vrij afstromende riviertrajecten, waar een hoger ecologisch rendement verwacht wordt vanwege het katalyseren van morfologische processen. Door de ligging in de nevengeul is het risico van het op drift raken van de bomen (wat hoger is bij een vrij afstromende rivier) toch beperkt.

Het projectteam 'rivierhout' heeft de uitvoering op deze locaties niet gecoördineerd, maar er wel bij geadviseerd. Locatie Aersoltweerde is wel in het biologische monitoringsprogramma van de pilot rivierhout opgenomen (zie paragraaf 4.2.6).

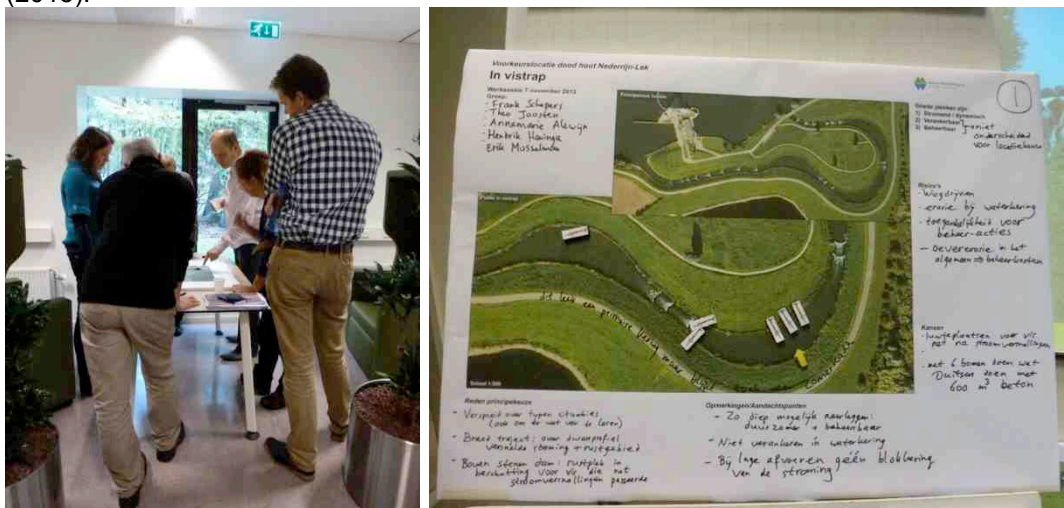


In de Lek moeten we zoeken naar slimme manieren om de variatie te vergroten binnen de randvoorwaarden van andere functies. (foto: Bureau Waardenburg).

1.2 Voortraject

Omdat het aanbrengen van rivierhout een nieuwe maatregel is voor de rivierbeheerder van de Nederrijn-Lek, is de opzet van de pilot goed afgestemd met het beheerdistrict. Hiervoor is op 7 november 2013 een integrale werksessie gehouden op het districtskantoor in Wolfheze. In deze werksessie zijn onder meer risico's en kansen voor andere functies en beheer benoemd. Ook is verkend op welke plekken in de Lek op een veilige manier dode bomen in het water kunnen worden aangebracht en wat de randvoorwaarden zijn om dit veilig te doen.

Een uitgebreid verslag en met achtergronden is opgenomen in Liefveld & Visser (2013).



Impressie van de werksessie op 7 november 2013 in Wolfheze (foto's: Bureau Waardenburg).

2 Planvoorbereiding

Voor het plaatsen van de bomen langs de rivier gelden strenge randvoorwaarden in verband met de scheepvaartveiligheid. Deze zijn in 2014 vertaald in twee werkwijzen voor het aanbrengen van de bomen: 1) het verankeren van de bomen aan stalen balken die in de waterbodem getrild zijn en 2) het laten afzinken van verzwaarde bomen met ballast. Aan de basis voor deze uitvoeringswijzen staan de doelen vanuit de Kaderrichtlijn Water (het moet wel wat opleveren voor ecologie) en de eisen vanuit de scheepvaartveiligheid.

2.1 Doelen Kaderrichtlijn Water

Hoofddoel voor het aanbrengen van rivierhout is het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit. Dit is onderdeel van de doelen van de Kaderrichtlijn Water, waarvan de eerste planperiode in 2015 afloopt. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor doelrealisatie in de grote rivieren.

De KRW-score voor de Nederrijn-Lek is matig voor de drie kwaliteitselementen vis, macrofauna en waterplanten (tabel 1.1). De ecologische kwaliteit moet dus verbeterd worden om het GEP te kunnen halen. In de Nederrijn-Lek wordt en is een aantal maatregelen uitgevoerd dat tot (neven)doel heeft deze ecologische kwaliteit te verbeteren. Voorbeelden zijn het aantakken van strangen, het verwijderen van oeverbekleding of uiterwaardverlaging. In de Lek zijn relatief weinig maatregelen geprogrammeerd.

Voor de verbetering van de KRW-score is in de eerste plaats een verbetering voor vis van belang omdat deze EKR-score het dichtst bij het GEP ligt. Voor vis is met name een groter aandeel van stroomminnende of waterplantminnende soorten nodig. Ook toename van de abundantie van deze soorten is belangrijk voor een betere score. In een gestuwde rivier als de Nederrijn-Lek is het echter niet gemakkelijk deze soorten terug te krijgen. Mogelijk kan het dode hout toch een extra variatie aanbrengen waar ook stroomminnende vissen van kunnen profiteren. Hierbij zou bijvoorbeeld een wat minder veeleisende stroomminnende soort als winde de locaties met rivierhout kunnen gebruiken als opgroeigebied.

Macrofauna reageert in het algemeen veel directer dan vis op de aanwezigheid van een bepaald substraat. Voor dit kwaliteitselement is dan ook zeker een toename van het aantal soorten te verwachten, met name natuurlijk soorten die rivierhout als substraat gebruiken. Als het aandeel negatief scorende soorten relatief minder groot is, zal dit ook een extra positief effect op de KRW-score hebben.

Op waterplanten wordt niet veel effect verwacht van de maatregel. De ontwikkeling van waterplanten in de Nederlandse grote rivieren wordt vooral bepaald door het optreden van peilverschillen tijdens het groeiseizoen (van Geest *et al.* 2011). Dit is ook voor de Lek waarschijnlijk de belangrijkste beperkende factor. De gunstigste trajecten

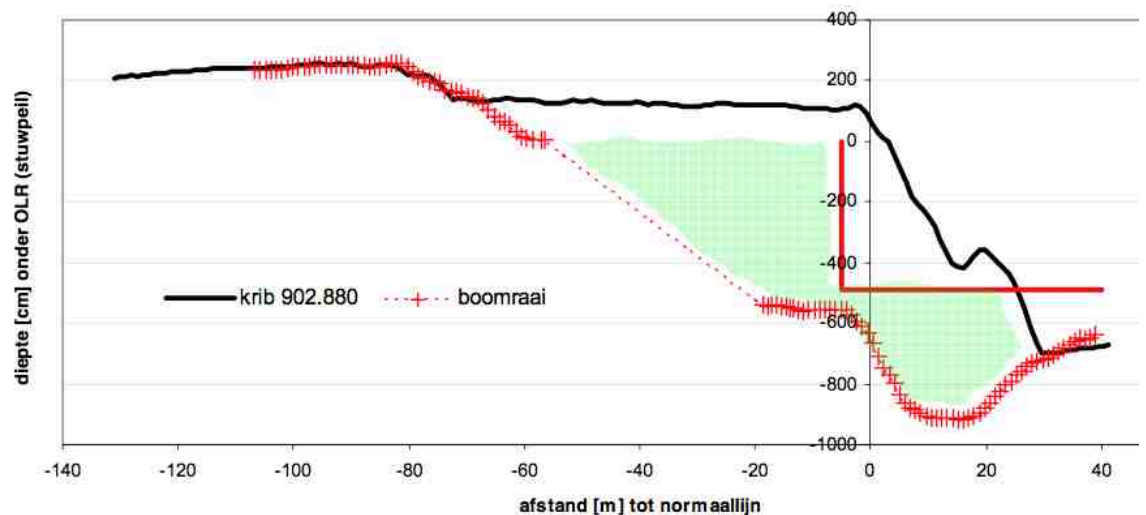
voor waterplanten liggen waarschijnlijk net tussen de locatie Everdingen en Maurik omdat daar de effecten van stuwpeilwisselingen het kleinst zijn (Liefveld & Bak 2012).

2.2 Eisen scheepvaartveiligheid

De belangrijkste risico's van het aanbrengen van dode bomen in de rivier hebben te maken met de veiligheid voor de beroepsscheepvaart. Hierbij moet een *worst-case* scenario als uitgangspunt genomen worden: een dode boom raakt op drift, komt in de schroef van een passerend binnenvaartschip, dat daardoor onbestuurbaar wordt en tegen een brugpijler aanvaart waardoor de brug verzakt en een passerende vrachtwagen met explosieve brandstof tot ontploffing komt. Om dit soort doemscenario's uit te kunnen sluiten moeten de bomen zeer goed vastgelegd worden en buiten de vaargeul blijven, ook bij hoogwater. Als bevestigingsmethode is in de eerste proef gekozen voor stalen balken waartussen de bomen met zware kettingen verankerd zijn (zie hoofdstuk 4). Hoe dichter de bomen bij de vaargeul liggen, hoe strenger de veiligheidseisen zijn.

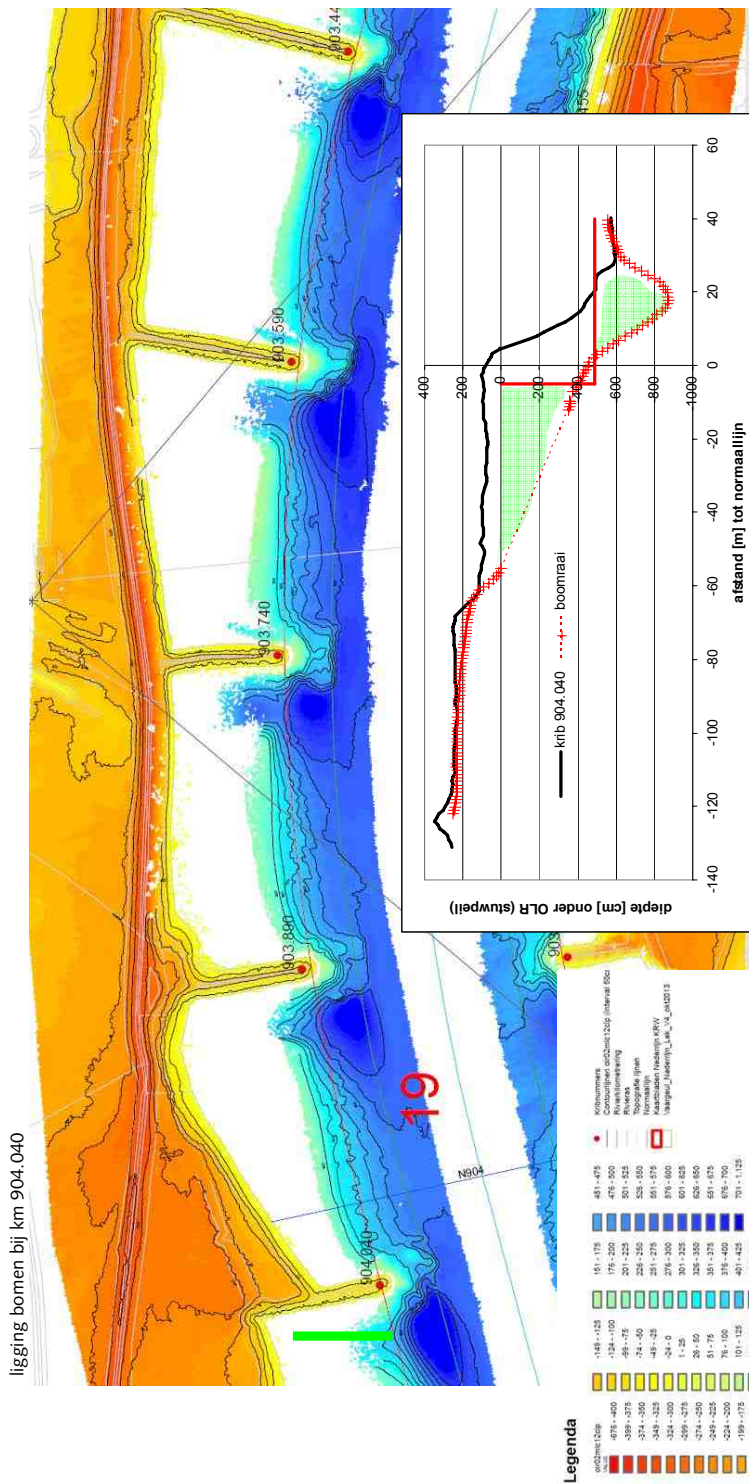
Houten constructies, zoals vooroevers of stroomschermen, liggen over het algemeen dichterbij de vaargeul dan dode bomen die alleen een ecologische functie hebben. Daarom is het van belang dat bij een aanvaring niet het schip, maar de constructie schade oploopt. Om deze reden geniet het de voorkeur om voor dit soort constructies hout te gebruiken in plaats van bijvoorbeeld stalen balken (zie hoofdstuk 4).

Bij de toepassing van rivierhout in kribvakken is de ligging binnen het kribvak van belang om aanvaringen van passerende schepen te voorkomen. De stroomschaduw van de krib is een veilige zone evenals de diepe erosiekuilen bij de kribkoppen (figuur 2.1). De plaatsing van rivierhout in de stroomschaduw van een krib voorkomt bovendien een opstuwende werking bij hoge waterstand.



Figuur 2.1: De veilige zone voor het plaatsen van dode bomen is de groene zone. Deze zone valt buiten het bereik van passerende schepen omdat het ofwel in de stroomschaduw van de krib valt ofwel te diep is, zelfs bij laagwater.

Op basis van deze randvoorwaarden zijn aan de hand van een kaart van de rivier met hoogteliggingen (multibeam) de meest geschikte locaties uitgezocht voor het plaatsen van de bomen (figuur 2.2).



Figuur 2.2.: De kaart met waterdieptes is gebruikt om geschikte proeflocaties te zoeken die voldoen aan de randvoorwaarden.

2.3 Berekeningen stabilisatie met ballast (tekst Arjan Sieben)

Niet op alle locaties is het mogelijk balken in te trillen als bevestigingsmethode voor de dode bomen. Dit is bijvoorbeeld het geval op diepere of slecht bereikbare locaties in de rivier. Daarom is ook het afzinken van hout met ballast als alternatief onderzocht. Van belang daarbij zijn de nauwkeurigheid van plaatsing en de stabiliteit, beiden in verticale en horizontale zin. Omdat dit een onzekerder methode is dan het verankeren van in de grond getrilde stalen balken, is in de planfase goed doorgerekend wat de juiste methode is voor het verzwaren van de bomen met ballast.

Plaatsing

Het vrij afzinken van hout-met-ballast is ten opzichte van verankering met palen (geheid/getrild/ gedrukt/geboord) minder nauwkeurig. Afhankelijk van vorm en diepte is een horizontale afwijking mogelijk. Zonder stroming wordt bijvoorbeeld bij het storten van stenen in 8 m diep water² normaliter een spreiding geschat van 5 m naar beide kanten van de stortpositie. De afmeting van de kuil bij krib 902.880 is op 8 m diepte 25 m in breedterichting en 40 m in stroomrichting. Bij krib 904.040 is dit op 7 m diepte 15 m in breedterichting en 25 m in stroomrichting. De geschatte 5 m spreiding omvat $2 \times 5 / 15 = 60\%$ van de kuil in breedterichting en $2 \times 5 / 25 = 40\%$ van de kuil in lengterichting. Deze marges zijn aan de grote kant, het afzinken dient daarom zorgvuldig te gebeuren.

-- Een voldoende nauwkeurige plaatsing kan worden bereikt door met twee bevestigingspunten de stam in de richting van de beoogde ligging te manoeuvreren, boom & ballast alvast enkele meters in het water te laten zakken en zo mogelijk het bevestigingspunt boven het diepste deel als laatste los te laten. --

Als de boom met elementen als ballast wordt verzwaard, is het waarschijnlijk dat de boom in de kuil op/boven de ballast-elementen terecht komt. De hoogte van de boom als obstakel in de vaarweg wordt dan bepaald door de hoogte van de ballast-elementen plus de hoogte van de boom zelf.

-- De totale hoogte van boom boven de ballastelementen moet voldoende klein blijven om goed te kunnen passen binnen de rivierkundige ruimte.--

Stabiliteit

Om te voorkomen dat de bomen gaan drijven moet het ballast-element zwaar genoeg zijn. Om opdrijven te voorkomen zijn bovendien minimaal twee ballastelementen nodig, om de boom zowel bij de wortels als bij de kruin op de rivierbodem te houden. De opwaartse kracht op de boom zonder kluit is:

$$F_{opw} = \rho_{water} g V_{ondergedompeld} - \rho_{hout} g V_{boom} = (\rho_{water} - \rho_{hout}) g V_{boom} \quad (1)$$

Om deze opwaartse kracht met een veiligheidsfactor γ te weerstaan

² Introduction to bed, bank and shore protection, G.J. Schiereck (2004).

(met $\gamma = F_{ballast} / F_{opw}$) is dan een ballast nodig met een totaal volume van:

$$V_{ballast} = \gamma \frac{\rho_{water} - \rho_{hout}}{\rho_{ballast} - \rho_{water}} V_{boom} \quad (2)$$

Voor ballastelementen met een soortelijk gewicht van 2400 kg/m^3 (beton) en hout dat varieert van 530 tot 740 kg/m^3 (els tot eik) betekent dit met een veiligheidsfactor $\gamma = 1.5$ een ondergrens van het ballastvolume van 50 tot 28% ten opzichte van het boomvolume. Om met twee ballastelementen van elk 3.3 m^3 (ribben van 1.5 m) opdrijven te voorkomen is het maximale boomvolume 13 m^3 (hout van 530 kg/m^3) of 24 m^3 (hout van 740 kg/m^3). Met twee ballastelementen van elk 1 m^3 (ribben van 1 m) is het maximale boomvolume 4 m^3 (hout van 530 kg/m^3) of 7 m^3 (hout van 740 kg/m^3).

-- Dus met een veiligheidsmarge van 1.5 varieert het betonvolume van de ballastelementen tussen 50 en 30% van het te stabiliseren houtvolume, afhankelijk van de houtsoort. Om de boom goed te stabiliseren zou dit volume over twee elementen verdeeld moeten worden. --

Dit is echter niet het enige criterium; behalve opdrijven moet ook horizontale verplaatsing van de boom worden voorkomen. De boom mag immers niet in de vaargeul belanden. Dat betekent dat de gecombineerde werking van stroming en van de zwaartekrachtscomponent langs een hellende bodem kleiner moet blijven dan de schuifkracht tussen boom + ballast en de bodem. Omdat de richting van maximale bodemhelling en maximale stroomsnelheid naar verwachting niet samenvallen, houdt dit criterium in:

- i) dat de bodemhelling kleiner is dan de wrijvingscoëfficiënt μ tussen boom en bodem; met $\mu = 0.36$ (vlakke plaat op zand) betekent dit dat zolang de boom na plaatsing flauwer ligt dan grofweg $1:3$ er geen significante kans is op verschuiven door afschuiven. Op het diepste punt van een erosiekuil wordt hier aan voldaan.

ii) vanwege de stroomsnelheid moet gelden $\mu(F_{ballast} - F_{opw}) > \rho_{water} \frac{C_d}{2} AU^2$ (3)

met een aangestroomd oppervlak $A = A_{boom} + \alpha A_{ballast}$ waarin verondersteld wordt dat de ballast-elementen door overlap met de boom slechts met een fractie α worden aangestroomd.

Dit criterium kan met vergelijking 1 en 2 worden herschreven als:

$$\frac{V_{boom}}{A} > \frac{\rho_{water}}{\rho_{water} - \rho_{hout}} \frac{C_d}{\mu(\gamma - 1)} \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

Vergelijking 4 levert een ondergrens voor de verhouding tussen boomvolume en aangestroomd oppervlak. Met een stroomsnelheid $U \approx 1 \text{ m/s}$, een wrijvingsconstante $\mu = 0.36$ en een stromingsconstante $C_d = 1.0$ is het rechterlid bij hout van 530 kg/m^3 gelijk aan 0.6 m . Met hout van 740 kg/m^3 is dit gelijk aan 1.0 m .

Dus, hout van 530 kg/m^3 en twee betonnen ballastelementen van elk 1 m^3 heeft een volume van maximaal 4 m^3 (Verg.2) en een aangestroomd oppervlak van maximaal $4/1.2=3 \text{ m}^2$ (Verg.4). Datzelfde hout van 530 kg/m^3 en twee ballastelementen van elk 1.5 m^3 heeft een boomvolume van maximaal 13 m^3 (Verg.2) en een aangestroomd oppervlak van maximaal $13/1.2=11 \text{ m}^2$. Dit is in tabel 1 als indicatie voor verschillende houtsoorten uitgewerkt.

| houtsoort | soortelijk hout- gewicht [kg/m^3] | maximaal boomvolume [m^3] | | maximaal aangestroomd oppervlak (boom +ballast) [m^2] | |
|-----------|--|---|----------------------------|---|----------------------------|
| | | 2x1 m^3 ballast | 2x1.5 m^3 ballast | 2x1 m^3 ballast | 2x1.5 m^3 ballast |
| den | 540 | 4.0 | 6.1 | 3.3 | 4.9 |
| beuk | 720 | 6.7 | 10 | 3.3 | 4.9 |
| eik | 700 | 6.2 | 9.3 | 3.3 | 4.9 |
| eik | 740 | 7.2 | 10.8 | 3.3 | 4.9 |
| els | 530 | 4.0 | 6.0 | 3.3 | 4.9 |
| es | 700 | 6.2 | 9.3 | 3.3 | 4.9 |
| esdoorn | 640 | 5.2 | 7.8 | 3.3 | 4.9 |

Tabel 2.1 Inschatting maximaal boomvolume en aangestroomd oppervlak.

Overigens is zodra de boom verzadigd is, eigenlijk minder ballast nodig dan bij de aanleg. Dit gegeven kan bijvoorbeeld gebruikt worden bij de aanleg van schermen, waarbij tijdelijke ballast later weer verwijderd kan worden om de introductie van kunstmatig materiaal te beperken (zie paragraaf 4.2.4). Op basis van literatuur is de inschatting dat een verzadigde boom ca. 10-20% weegt van hetzelfde volume in betonvolume (A. Sieben, pers. com).

2.4 Onderzoeksvragen

De pilot is uitgevoerd om kennis op te doen over de verschillende processen en effecten ervan. Dit geldt zowel voor de ecologie (KRW-effecten) als voor rivierkunde (veiligheid en gebruik en onderhoud van de vaargeul). In deze paragraaf worden de vragen toegelicht die van te voren zijn geformuleerd rondom deze twee functies. Ze vormen de basis voor het monitoringsprogramma (zie ook 4.2.6), maar niet alle onderstaande vragen worden hier al door beantwoord. Ze vormen dus ook input voor toekomstige monitoring.

2.5.1 Vragen rivierbeheer (tekst Arjan Sieben)

Vanuit het rivierbeheer zijn de volgende onderzoeksvragen relevant:

I) Vaargeul

- a) hoe is de verandering van dwarsstroomsnelheden op de rand van de vaargeul?
- b) hoe is de verandering in bodemhoogte in de vaargeul?
- c) hoe is de verandering in vaarweggebruik (groter ruimtebeslag door onzekerheid over diepte)?
- d) hoe is de verandering in vaargeulonderhoud?

II) Hoogwaterveiligheid

bij de bomen in de kribvakken:

- a) Wat is de verandering in kribafvoer tijdens hoogwater?

bij de bomen in de binnenbocht:

- b) Wat is de verandering in bovenstroomse hoogwaterstand?

III) Stabiliteit

bij de bomen in de kribvakken:

- a) wat is de bodemverandering rondom de krib?

bij de bomen in de kribvakken:

- b) wat is de verandering in kribtalud op lichaam en kop?

bij de bomen in de binnenbocht:

- c) wat zijn de bodemveranderingen bij de huidige oever?

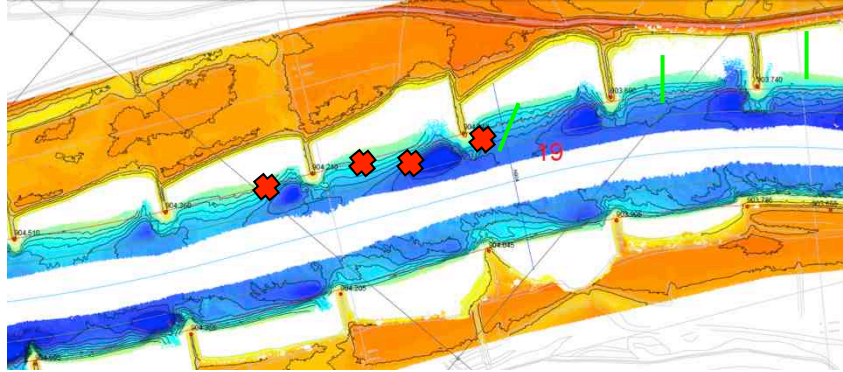
la) Dwarsstroomsnelheden op de rand van de vaargeul

Als gevolg van stoorobjecten of de uitmonding van beken of nevengeulen kunnen in de vaargeul dwarsstromingen ontstaan. De scheepvaart kan hier hinder van ondervinden (vergelijk het met zijwind op de autoweg). Daarom moeten dwarsstromingen zoveel mogelijk beperkt blijven. Het is daarom van belang te weten wat het effect van het aanbrengen van dode bomen in de rivieroever is op deze dwarsstromingen. Een eerste inschatting is dat de grootte van deze snelheden door plaatsing van bodem in ontgrondingskuilen niet sterk zullen veranderen. Mocht dit toch het geval zijn dan zullen snelheidspieken door bijbehorende aanpassing van de kribvakbodem in de eerste maanden na aanleg genoeg afnemen (A. Sieben *pers. med.*).

Voor de bomen in de binnenbocht lijkt de bepaling van stroomsnelheden minder relevant omdat de binnenvaart hier verder vandaan blijft. Met een oriëntatie van $\tan\theta=0.15$ ($\theta=8.5$) ten opzichte van de normaallijn is bij stroomsnelheden van grofweg 1 m/s de lokale dwarsstroomsnelheid in de orde van 0.15 m/s te beperken

-- Mocht er twijfel zijn over de grootte van dwarssnelheden in de vaargeul, dan is het een optie om met een meetvoertuig op verschillende snelheid enkele vaartracks langs aangepaste en referentie kribvakken te maken en verschillen in zijdelingse koersafwijkingen te registreren. Als bij de aangepaste kribvakken dit verschil relevant

genoeg is, dan is er aanleiding om snelheidsmetingen uit te voeren gedurende perioden met minimaal 5 passages, op een viertal locaties zo dicht mogelijk bij krib/boom en normaallijn zoals geschetst in figuur 2.3.



Figuur 2.3: Optie meting stroomsnelheden in kribvak met en zonder boom.

lb) Bodemhoogte in de vaargeul

Bodemveranderingen in de vaargeul kunnen met de reguliere jaarlijkse bodempeilingen goed worden bepaald uit vergelijking van peilingen voor en na aanleg. Dit vergt verder geen aanvullende monitoring.

lc) Veranderingen in vaarweggebruik

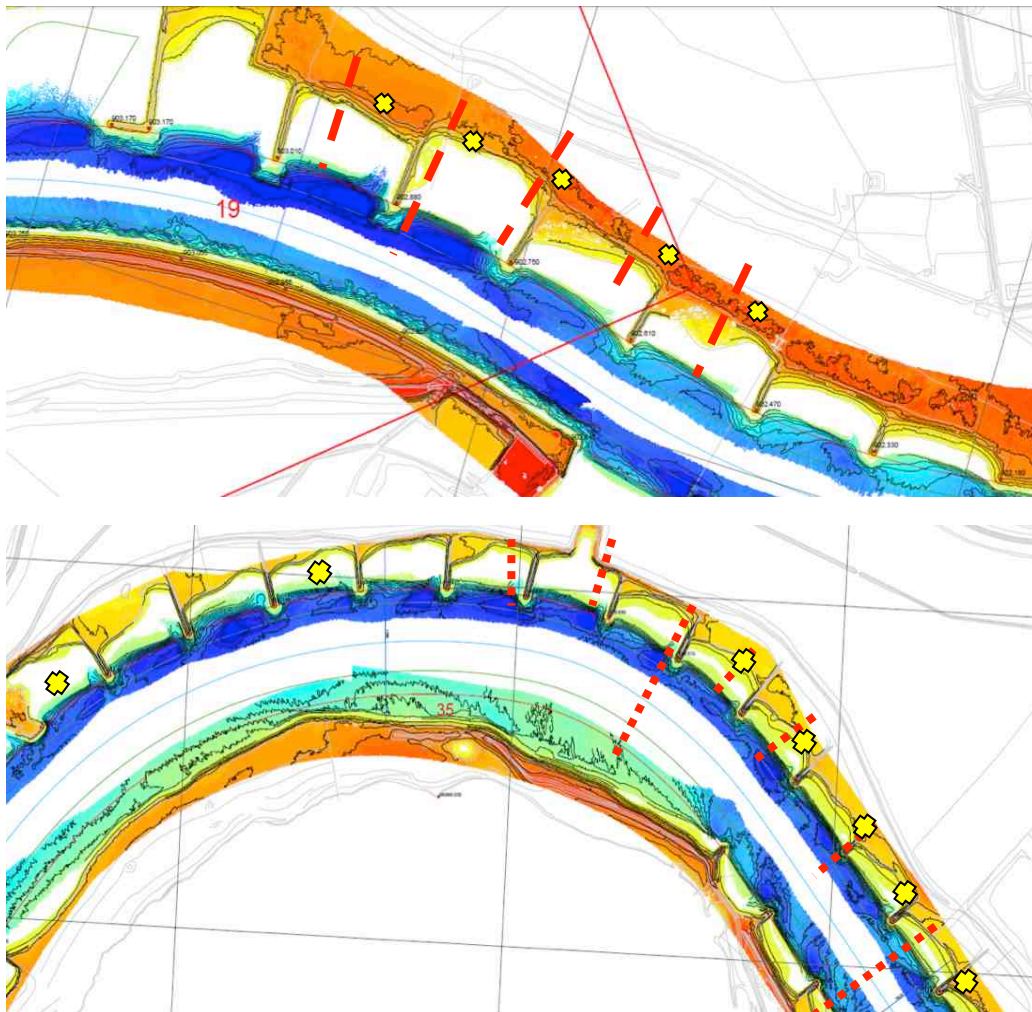
Monitoring van het vaarweggebruik kan door evaluatie van klachten bij de 0800 lijn en door Koninklijke Schuttevaer KSV te verzoeken om door KSV ontvangen klachten en opmerkingen aan RWS te melden. Dit vergt verder geen aanvullende monitoring.

ld) veranderingen in vaargeulonderhoud

De invloed van maatregelen op het vaargeulonderhoud is mogelijk door evaluatie van het gepleegd onderhoud ter plekke van de maatregelen door de uitvoerder van het onderhoudscontract. Dit vergt verder geen aanvullende monitoring.

lla) Opstuwung door bomen in de kribvakken

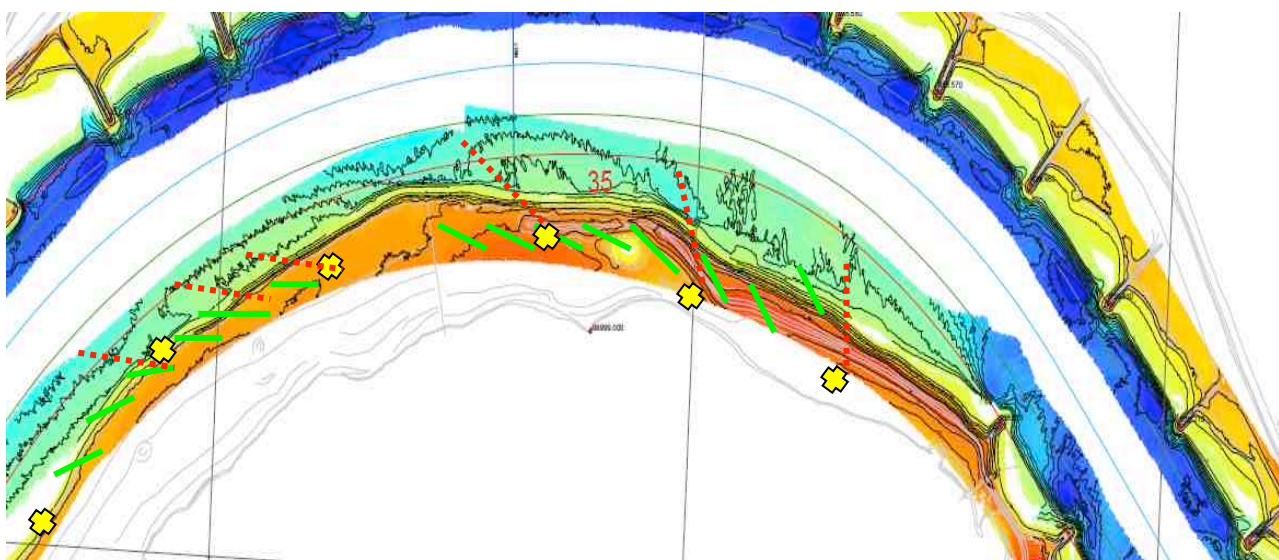
Het opstuwende effect van bomen tijdens gewone hoogwaters is vermoedelijk te klein om nauwkeurig uit waterstandsmetingen te kunnen halen. Vooralsnog wordt ingeschat dat hoogwaterberekeningen dan ook niet nodig zijn (Sieben pers. med.). Mocht dit veranderen, dan is monitoring nodig in de vorm van waterstandsmetingen direct boven- en direct benedenstrooms van bijvoorbeeld een viertal kribben met en zonder boom en aanvullend hieraan snelheids-/afvoermetingen in een dwarsprofiel (een bundel van 10 meetraaien) aan weerskanten van deze kribben (figuur 2.4). Met waterstanden, verval en kribafvoer kan dan een aangepaste afvoerrelatie (overlaatformule) worden gemaakt waarmee op basis van de waarnemingen de opstuwende werking van “kribvakbomen” bij extremere hoogwaterstanden kan worden voorspeld.



Figuur 2.4 Voorstel raaien snelheidsmetingen en posities waterstandsmeters

IIb) opstuwing door bomen in de binnenbocht

Ook het opstuwende effect van bomen in de binnenbocht tijdens gewone hoogwaters is vermoedelijk te klein om nauwkeurig uit waterstandsmetingen te kunnen halen. Vooral nog zijn waterstandsmetingen dan ook niet nodig. Mocht dit veranderen, dan is ook hier tijdens hoogwater monitoring nodig in de vorm van een zestal waterstandsmetingen (figuur 2.54) en ter plekke van deze waterstandsmeeetpunten, in combinatie met een bundel van 10 meetraaien van snelheids- en afvoermetingen (figuur 2.54). Met waterstanden, verval en afvoer door de “bomen”zone kan een bijpassende hydraulische ruwheid worden geschat waarmee de opstuwende werking van “kribvakbomen” bij extremere hoogwaterstanden kan worden voorspeld.



Figuur 2.5 Locatie waterstandsmetingen en snelheids/afvoermeeetraaien.

IIIa) Stabiliteit in bodemligging rondom de krib

De bodemveranderingen rondom de krib kunnen worden bepaald uit jaarlijkse kribvakmetingen.

Rondom de boom is lokale erosie te verwachten. De boom kan hierdoor een beetje wegzakken en wat meer bewegingsruimte krijgen. Verder “wiebelen” van de boom versterkt vervolgens de erosie rondom de boom. Dit kan uiteindelijk de bodemligging rondom de krib beïnvloeden. Als uit de reguliere jaarlijkse bodempeilingen blijkt dat dit in te grote mate optreedt, dan is het nodig om gedurende een langere periode de bodemligging ter plekke, en de positie en stand van de boom met deze jaarlijkse bodempeilingen te volgen.

IIIb) Stabiliteit van de bestorting van de krib

De veranderingen in kribtalud op kop en lichaam kunnen worden bepaald uit kribtalud metingen (zie IIIa).

IIIc) Stabiliteit van de oever in de binnenbocht

De stabiliteit van de oever kan worden bepaald door jaarlijkse inspectie plus vergelijking van jaarlijkse luchtfoto's. Echter, omdat de oever in ruime mate is bestort, wordt dit risico als zeer laag ingeschat.

Zie bijlage 3 voor een overzicht van de onderzoeksvragen vanuit rivierkunde.

2.5.1 Vragen Kaderrichtlijn Water

Vanuit de KRW gaat de aandacht uit naar macrofauna en vis (paragraaf 2.1). Deze kwaliteitselementen moeten verbeteren voor een hogere EKR-score. Voor zowel macrofauna als vis heeft in 2014 en 2015 monitoring plaatsgevonden die is beschreven in afzonderlijke rapporten (Dorenbosch *et al* 2014, 2015, Klink 2014). De opzet van het onderzoek is in de projectgroep kortgesloten en de detailinvulling van de pilot is hier deels op afgestemd³. Hierbij heeft ook een financiële afweging plaatsgevonden. Hierbij is bijvoorbeeld gekozen voor een beperkt aantal referentie monsters en voor het continueren van het onderzoek aan de bomen die als eerste aangebracht zijn, in plaats van het uitbreiden met nieuwe locaties (zie ook bijlage 5).

In het visonderzoek staan de volgende vragen centraal (Dorenbosch *et al* 2014):

1. Worden dode bomen gebruikt door vissen?
2. Hebben dode bomen een meerwaarde ten opzichte van traditionele oevers?
3. Wat is de ecologische functie van de dode bomen voor vissen (met betrekking tot paai-, opgroei-, schuil- en foerageerhabitat)?

Voor macrofauna zijnde volgende onderzoeksvragen gedefinieerd (Klink 2014)

- Hoe kunnen bomen bemonsterd worden op macrofauna (methode)?
- In welke mate kunnen bomen een bijdrage leveren aan het vergroten van de biodiversiteit in de rivier?
- In hoeverre kunnen bomen bijdragen aan het verhogen van de KRW score (EKR)?

Voor een samenvatting van de resultaten van beide onderzoeken wordt verwezen naar bijlage 5. In bijlage 4 is een uitgebreid voorstel voor macrofaunabemonstering opgenomen dat in afgeslankte vorm in het onderzoek van Klink (2014 en 2015) uitgevoerd is. Hierin zijn ook de onderzoekshypothesen beschreven.

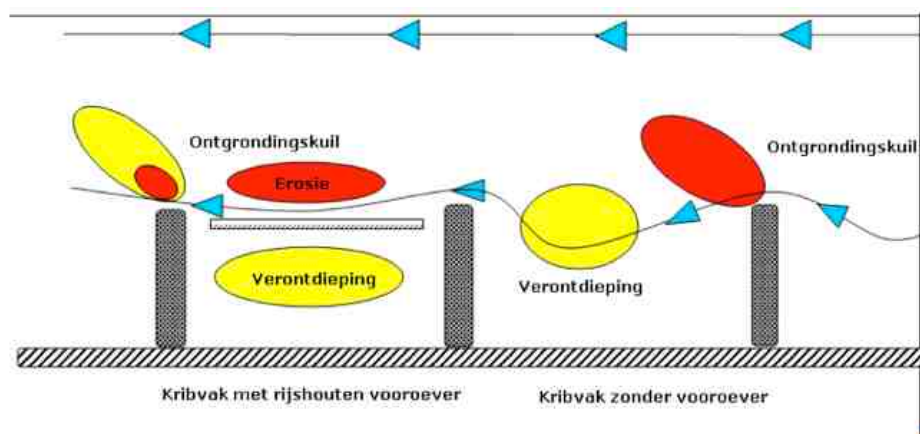
³ Zo is een losse boom als referentie voor de monitoring toegevoegd aan de schermen in de Redichemse waard en zijn demontabele platen voor de macrofaunabemonstering aan de bomen bij Wageningen bevestigd.

3 Selectie locaties

3.1 Riviertrajecten

Voor de pilot is gekozen voor de Nederrijn-Lek omdat hier de risico's vanuit veiligheid beperkt zijn. De rivier is hier gestuwd en stroomt een groot deel van het jaar nauwelijks. Bovendien is de scheepvaartintensiteit op dit traject aanzienlijk kleiner dan op bijvoorbeeld de Waal. Bovendien is uit onderzoek gebleken dat in dit waterlichaam gebrek is aan habitatvariatie in de kribvakken (Liefveld & Bak 2012). Ook vanuit KRW-perspectief is het dus wenselijk maatregelen te testen die de habitatvariatie op dit traject kunnen vergroten. Indien de bevestigingsmethoden adequaat blijken kan eventueel in de toekomst de maatregel toegepast worden op vrij afstromende trajecten zoals de Waal en de IJssel.

In stromend water wordt wel een hoger ecologisch rendement verwacht, zoals blijkt uit onderzoek in beken en buitenlandse rivieren (Verdonschot *et al.* 2011, Liefveld & Visser 2013). Daarom is in de selectie van proeflocaties wel gezocht naar locaties waar toch een hogere stroomsnelheid wordt gehaald, bijvoorbeeld in een vistrap of bij een in-of uitstroompunt van een geul. Ook is ingeschat dat in de erosiekuilen die bij de kribkoppen liggen de stroomsnelheden hoger zijn, vooral bij passerende schepen (zie figuur 3.1). In de workshop in november 2013 zijn de verschillende mogelijkheden besproken en is een lijstje van potentiële pilotlocaties opgesteld. Voor nadere toelichting op deze selectie zie het verslag van de workshop (Liefveld & Visser 2013).



Figuur 3.1: Principeschets van de stromingspatronen en morfologische processen in de kribvakken van de Nederrijn-Lek.

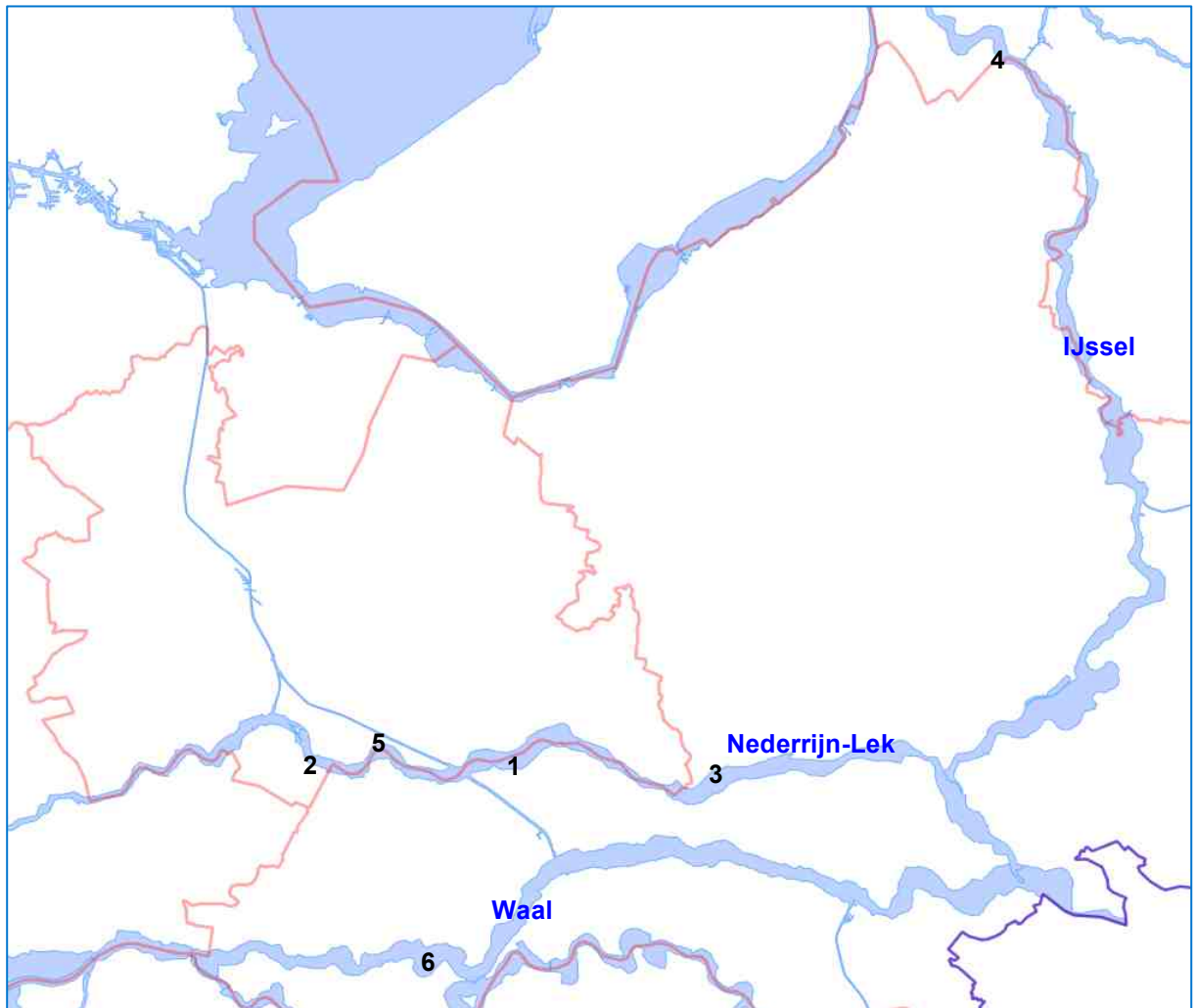
Tabel 3.1 Overzicht potentiële pilotlocaties met de belangrijkste te onderzoeken variabelen zoals naar voren is gekomen in de workshop (Liefveld & Visser 2013). Op de locatietypen 1, 4, 5 en 6 zijn in fase 1 bomen aangebracht (december 2013/januari 2014). Op locatietype 3 zijn in juli 2014 bomen aangebracht en op locatietype 7 in april 2015. Op welke locaties en wanneer rivierhout is aangebracht is weergegeven in bijlage 1.

| Locatie type | te onderzoeken variabelen | extra wensen | plek (naam) / plaatsaanduiding |
|--|--|--|--|
| 1. open kribvak, snelvaren zone | zuiging, omkeren stroomrichting, golven | locatie waar al ecologische data van zijn | Everdingen (2014) |
| 2. open kribvak, langzaam varen zone | zuiging, omkeren stroomrichting, golven | stijl aflopend kribvak in buitenbocht | nader te bepalen |
| 3. kribkop-ontgrondingskuil | stroming, licht, morfologie | buitenbocht (dieper kribvak) | Wageningen (2014) |
| 4. vistrap | stroming | hydraulische evaluatie | bij stuw Amerongen (Maurik) (2014) |
| 5. vooroever | invloed op (kribvak achter) vooroever | reeds gemonitord kribvak met vooroever | drie kribvakken westelijk van Fort Everdingen (2014) |
| 6. éénzijdig aangetakte geul (luwe plek) | ontwikkeling macrofauna, waterplanten en vis-habitat in de luwte | bosje dat in het water staat ook meenemen bij monitoring | Everdingen (2014) |
| 7. riviercorrigerende constructie | invloed op morfologie en ecologie op een morfologisch actieve plek | op meest zandige plek in de geul (nabij monding) | Redichemse waard (2015) |

3.2 Pilotlocaties

Zowel voor het ecologische rendement als voor de duurzaamheid van het dode hout, is het belangrijk dat de bomen zo veel mogelijk onder water liggen. De verwachting is dat het hout dan minder snel afbreekt dan wanneer het geregeld aan de lucht wordt blootgesteld en de macrofauna het hout niet steeds opnieuw hoeft te koloniseren⁴. Daarom is bij de selectie van geschikte pilotlocaties gelet op beperkte waterstandsfluctuaties ter plaatse (zie ook figuur 2.1). Voor de scheepvaartveiligheid is het van belang om het zoekgebied te beperken tot het deel met alleen waterstanden boven stuwpeil (km 891.5-905 en km 922-937) (zie bijlage 2).

⁴ Tegelijk is het juist belangrijk dat er ook takken boven het water uitsteken, zowel voor de zichtbaarheid (recreatiescheepvaart) als voor het uitslippen van libellen en kokerjuffers.



Figuur 3.3: Overzicht locaties pilot rivierhout: 1) Maurik, 2) Everdingen, 3) Wageningen, 4) Aersoltweerde, 5) Redichem, 6) Hurwenen. Voor een compleet overzicht, zie bijlage 1.

De locaties waar de bomen geplaatst zijn, zijn gebaseerd op een combinatie van de onderzoeksvragen en de randvoorwaarden ten aanzien van veiligheid en scheepvaart (zie ook tabel 3.1).

Rivierhout in stromend water

De eerste locatie waar bomen geplaatst zijn (december 2013) ligt in de vistrap bij Amerongen/Maurik. Deze locatie is geselecteerd vanwege het stromende karakter in een verder gestuwd riviertraject. Vanuit andere studies aan rivierhout is bekend dat in stromend water het hoogste rendement op de ecologie gehaald wordt (vis en macrofauna). Het is de vraag in hoeverre dit in een vistrap van toepassing is, want wat betreft de bodemmorfologie zijn de processen hier beperkt door het vastgelegde karakter van het stroombed. In de vistrap zijn de bomen vastgelegd door ze met kettingen te verankeren aan stalen balken die in de oever aangebracht zijn (zie paragraaf 4.2.2.).

Rivierhout in strang en kribvak (met vooroever)

In de Lek bij Everdingen zijn in december 2013 en januari 2014 bomen geplaatst in twee kribvakken en in een strang (figuur 3.4). Deze locaties zijn geselecteerd op basis van verschillen in expositie en stroomsnelheid. De boom in het open kribvak ligt het meest geëxposeerd en zal de meeste dynamiek ondervinden van scheepvaartgolven (boom 1 in figuur 3.4). Twee kribvakken stroomafwaarts liggen twee bomen in een kribvak achter een rijshouten vooroever. Dit is een luwere situatie omdat golfwerking hier enigszins gedempt wordt door de vooroevers. In de strang ligt één boom nabij de monding. Hier zijn de oevers wat zandiger, wat duidt op een hogere stromingsdynamiek. Verder in de geul liggen nog twee bomen. Dit is de meest laagdynamische locatie van deze vier. Door op deze wijze bomen toe te passen op verschillende typen plekken, kan het effect van bomen bij verschillende mate van dynamiek onderzocht worden. Ook op deze locatie zijn de bomen vastgelegd door ze te verankeren aan stalen balken die in de bodem getrild zijn (zie paragraaf 4.2.2.).



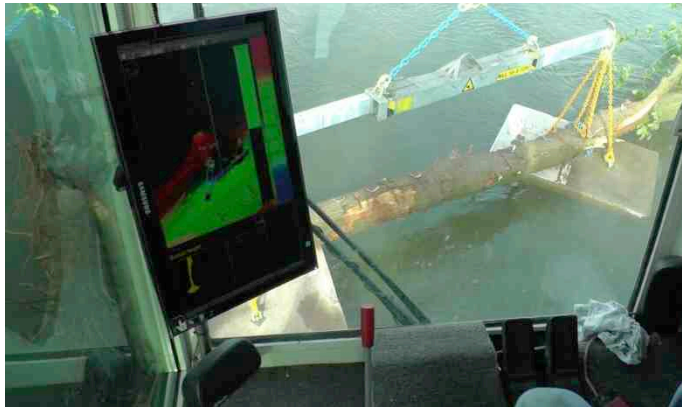
Figuur 3.4: Overzicht boomlocaties Everdingen. (Bron ondergrond: © Eurosense BV, DKLN2011). Locatie 1: 1 boom in open kribvak, locatie 2: 2 bomen achter vooroever, locatie 3: 2 bomen in strang, locatie 4: 1 boom in strang nabij de monding. (NB: bomen zijn niet op schaal!)

Rivierhout in erosiekuilen

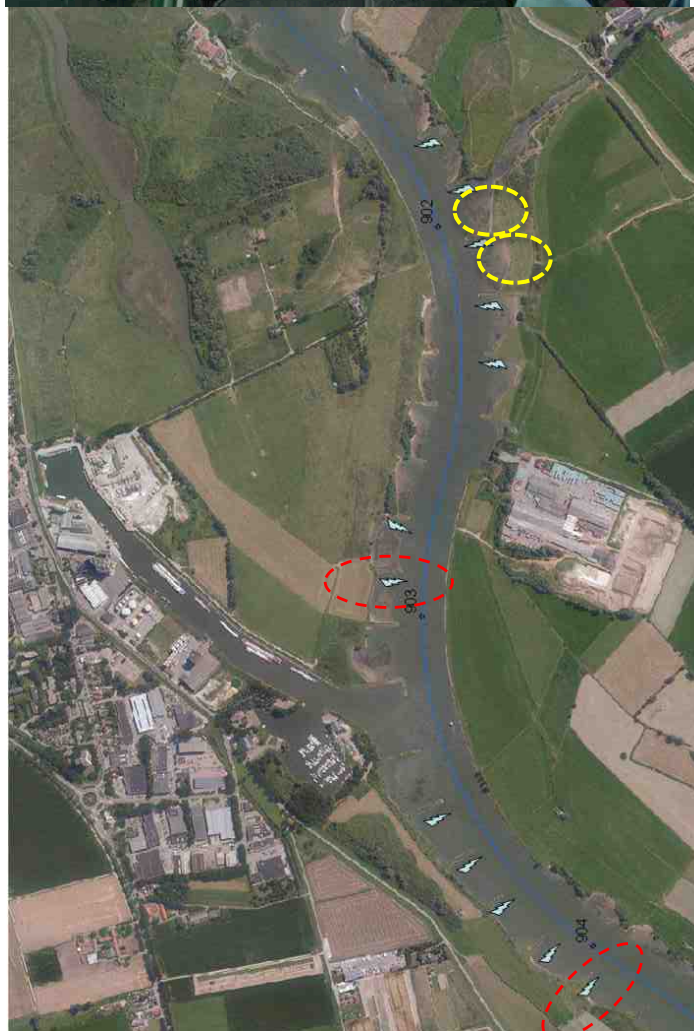
Aan de rechteroever van de Nederrijn bij Wageningen zijn in eerste instantie zes bomen in erosiekuilen aangebracht (figuur 3.5 en 3.6). De potentiële locaties hiervoor zijn geselecteerd op basis van de criteria 'ligging buitenbocht' en 'weinig peilfluctuaties'. De rood omcirkelde locaties zijn uiteindelijk geselecteerd (904.040 en 902.880) voor de pilot op basis van de diepte van de erosiekuil en de vrij beschikbare ruimte in het kribvak (groene zone in figuur 2.1). Plaatsing is achter normaallijn zodat scheepvaart geen hinder ondervindt. Op elk van de twee locaties liggen drie verzwaarde bomen op drie verschillende dieptes: diep- matig diep en ondiep. Dit is gedaan om het effect van lichtinval op de ecologische waarde te kunnen toetsen. In

2015 zijn op nog twee locaties op de linkeroever twee bomen in erosiekuilen aangebracht (figuur 3.6).

Voor de locatieselectie is een marge aangehouden voor het leegzuigen van het kribvak (ca 0,5 m onder waterstand) door scheepspassages. De bomen moeten ook op de ondiepe locaties hier onder blijven anders vallen ze te vaak droog wat ten kosten gaat van de duurzaamheid en ecologische waarde.



Figuur 3.5: Bij het plaatsen van de bomen in de erosiekuilen moest heel precies de locatie bepaald worden op het kraanschip (foto: A. Klink).



Figuur 3.6: Potentiele locaties voor bomen in erosiekuilen bij Wageningen. De rood omcirkelde locaties zijn uiteindelijk geselecteerd (904.040 en 902.880) voor de pilot (Fase 1). Op elk van deze twee locaties liggen drie verzwaarde bomen op drie verschillende dieptes: diep-matig diep en ondiep. In 2015 zijn op de geel omcirkelde locaties ook nog twee bomen per erosiekuil aangebracht.

Rivierhout in riviercorrigerende constructies

Anders dan de hiervoor genoemde pilotprojecten met rivierhout, is voor het aanbrengen van hout in riviercorrigerende constructies, de locatie leidend. Hier is dus niet een locatie bij de boom gezocht, maar bomen bij de locatie. Het gaat dan ook om locaties waar een probleem speelt, zoals oevererosie of juist verondieping van de vaargeul.

Als eerste pilot met hout in een riviercorrigerende constructie zijn in april 2015 in de Redichemse waard bij Culemborg vier rijen met bomen geplaatst als parallelle schermen in de rivier (figuur 3.7). Op deze locatie treedt verondieping van de vaargeul op doordat de binnenbocht zich verbreed. De schermen hebben als doel om de aanzanding in de vaargeul te beperken doordat ze de stroming meer naar het midden van de rivier dirigeren en de sedimentatie vooral in de luwere zone tussen de schermen zal plaatsvinden (zie paragraaf 2.5.1.). Deze schermen zijn pas effectief als ze in serie geplaatst zijn, maar het effect kan wel 'in het klein' onderzocht worden door eerst als proef één scherm te plaatsen. Dit soort maatregelen voor oeverbescherming kunnen bij bewezen effectiviteit ook op andere probleemlocaties aangelegd worden.

Nieuwe locaties waar in de toekomst wellicht rivierhout ingezet gaat worden om rivierkundige problemen op te lossen zijn beschreven in paragraaf 4.2.6 en bijlage 6 en 7.



Figuur 3.7. Locaties schermen en rivierhout bij de Redichemse waard. Het rivierhout (losse boom) is als referentie voor de ecologische monitoring aangebracht zodat de effectiviteit van de schermen vergeleken kan worden met die van een complete boom.

4 De praktijk: het plaatsen van de bomen

4.1 Het basismateriaal: de bomen

Van top tot kruin

Het is belangrijk dat de bomen van top tot kruin in het water gelegd worden. Dit geldt in elk geval voor de pilotfase, waarin de bijdrage van de verschillende boomonderdelen voor de ecologie onderzocht wordt. Het broekstuk (wortels), de stam en de takken zouden elk een andere betekenis kunnen hebben voor de biologische kwaliteitselementen (vis en macrofauna). Als uit het onderzoek blijkt dat er geen verschil is tussen bepaalde onderdelen kan deze werkwijze aangepast worden. Met name het behouden van het broekstuk aan de boom is een complicerende factor bij het rooien van de bomen. De takken zijn met name lastig in geval van transport over de weg (figuur 4.0).



Figuur 4.0: In december 2013 moesten eiken verwijderd worden langs een fietspad in Beesd. Deze bomen zijn met wortel en al uit de grond getrokken en op transport gezet richting Everdingen.

Keuze boomsoort

Vanuit het oogpunt van authenticiteit gaat de voorkeur uit naar bomen die van nature ook langs de rivier (zouden kunnen) voorkomen. Dit zijn bomen als els, wilg, eik, maar ook (zwarte) populier. Voor het introduceren van bomen als onderwaterstructuur, is het wenselijk dat de bomen lang blijven liggen en niet snel vergaan. Daarom heeft eikenhout de voorkeur boven populierenhout. Daarnaast is het een voordeel als de

bast enigszins ruw is, zodat dit veel aangrijpingspunten bied voor macrofauna. Een beuk is in die zin minder geschikt dan een eik. Ten slotte is de 'kronkeligheid' van de boom een issue: voor een toepassing in 'schermen' is het van belang dat de bomen zo recht mogelijk zijn. Voor de ecologische effecten geniet een kronkelige boom echter de voorkeur, omdat deze meer variatie aan habitats (schuilplek, wisselend stromingsklimaat) biedt dan een rechte stam.

Vanuit het oogpunt van duurzaamheid is wenselijk om binnen een project bomen die geroid moeten worden opnieuw te gebruiken. Dit heeft de voorkeur boven deze bomen afvoeren en andere boomsoorten van ver te laten aanvoeren. Als het om wilgen gaat is het wel belangrijk dat deze permanent onder water liggen, omdat deze houtsoort sneller afgebroken wordt.



Figuur 4.1: Bij het verwijderen van de bomen en het transport raakten sommige bomen beschadigd (links). De verwachting is dat op deze plekken het hout eerder aangetast zal raken en dat de aanhechtingsmogelijkheden voor macrofauna anders zijn (foto rechts van een boom die al anderhalf jaar in het water ligt).

4.2 Werkwijze plaatsen bomen

4.2.1 Transport

Vanwege de lengte van de bomen (> 12 m) en het gewicht (ca. 2 ton), moest het transport plaatsvinden met een dieplader (figuur 4.2). Het handigst hiervoor is een dieplader met kraan. Dit is bij alle locaties van de pilot toegepast. Na het transport zijn de bomen op locatie met een rupskraan gelost en gelost en getransporteerd door het veld naar de locatie in de rivieroever.



Figuur 4.2: Gerooide eik wordt op transport gezet.

4.2.2 Verankering aan palen (Everdingen en Maurik)

Voor het plaatsen van de bomen bij Everdingen en in de vistrap bij Maurik zijn eikenbomen gebruikt met een stamdiameter van ca. 40 cm met kluit. In het kribvak waar de bomen geplaatst moesten worden zijn vier stalen balken (HE 160A) van 6 meter lang in de oever getrild met behulp van een trilblok aan de rupskraan (figuur 4.3). Bij het intrillen is rekening gehouden met eventuele lokale erosie rondom de bomen: verankeringspalen zijn daarom voldoende diep aangebracht (rekening houdend met een afnemende bodemhoogte).



Figuur 4.3: Intrillen van stalen balk in kribvak bij Everdingen

Bij de vistrap zijn de balken niet in de bodem van de vistrap zelf verankerd, maar op de oever (anders zou dit ten kosten gaan van de bekleding van de vistrap waardoor erosie aan de vistrap plaats zou kunnen vinden.) De bomen zijn met een ketting met een trekkracht van boven de tien ton bevestigd aan de boom: één ketting direct achter de kluit en een ketting bij de kroon. Waar de ketting rond de boom is bevestigd, is een

gat van 3 cm dwars door de stam geboord waardoor een stalen pin van 28 mm doorsnee en 45 cm lengte is bevestigd met een oog. Hier is de ketting doorheen gedaan zodat deze goed aan de boom vast zit. Daarna is het oog vast gelast. De ketting kan hierdoor niet over de stam verschuiven. De ketting is met een verbindingsschalm met een trekkracht van 10 ton verbonden aan de stalen balk op de oever (figuur 4.4.a en b).



Figuur 4.4a: Stalen ketting door oog in de boom met losse verbindingsschalm (links) en plaatsen boom in de vistrap (rechterfoto: A. Klink).



Figuur 4.4b: De bomen in de vistrap bij Maurik zijn met kettingen verankerd aan vier stalen H-balken op de beide oevers.

Bij Everdingen in de strang is dezelfde bevestigingsmethode als in de vistrap aangehouden, met dit verschil dat de stalen H-balken in het water zijn aangebracht en niet op de droge oever (figuur 4.5 rechts). De bomen zijn verankerd aan één paal bij

de kruin en één paal bij het broekstuk. De gebruikte ketting en schalmen zijn van de zelfde kwaliteit en op de zelfde manier bevestigd als in de vistrap bij Maurik. Bij Everdingen in het kribvak zijn de bomen tussen vier palen geplaatst, twee palen bij de kluit en twee palen bij de kruin (figuur 4.5 links). Hier is voor een robustere uitvoering gekozen vanwege de ligging nabij de vaarweg (hoewel er nog een scherm tussen ligt).



Figuur 4.5: De bomen bij Everdingen zijn verankerd aan stalen H-balken: vier per boom in de kribvakken (links) en twee per boom in de strang (rechts). (Foto's tijdens laagwater 7 november 2015).

In het kribvak bij Everdingen waar in 2013 al bomen zijn aangebracht, is in september 2015 nog eens een boom aangebracht volgens dezelfde methode (vier H-profielen, boom ertussen met kettingen) in hetzelfde kribvak. In totaal liggen in dit kribvak nu drie bomen achter de rijshouten vooroever (figuur 4.6).



Figuur 4.6: In oktober 2015 is tijdens de macrofaunabemonstering een extra boom in het kribvak bij Everdingen geplaatst, zodat er nu drie bomen liggen. Op de rechterfoto zijn de blaadjes aan de jongste boom nog te zien (foto genomen tijdens laagwater in november 2015).

4.2.3 Verankering op diepe plekken (Wageningen)

Voor de bomen in de erosiekuilen bij Wageningen zijn weer eiken gebruikt, ditmaal met een stamdiameter van 40 tot 60 cm. De kluiten zijn vrij gemaakt van grond om het houtige substraat maximaal beschikbaar te maken. De lengte van deze bomen was 12 tot 14 meter. Het gewicht van deze bomen lag tussen de twee en ruim drie ton. Omdat de erosiekuilen waar ze geplaatst zijn te diep zijn om balken in te trillen, zijn deze bomen verzwaard met ballast. Voor de verzwaring zijn (gerecyclede) betonplaten gebruikt van 2 bij 3 meter en 28 cm dik. Het gewicht van deze plaat is +/- 3,9 ton. Er zijn steeds twee betonplaten per boom gebruikt.

De betonplaten en de bomen zijn op een kraanschip geladen en naar de locatie gevaren. De bomen zijn met kettingen bevestigd aan de betonplaten (bevestiging en trekkracht zelfde als fase 1). Door de betonplaat is een draadeind bevestigd met een borgmoer, aan de andere zijde zit een draaibaar hijssoog waar de ketting mee verbonden is. Aan de betonplaten zitten nog twee hijsogen voor het afzinken van de betonplaten met de boom. De boom is met twee betonplaten in één keer afgezonken (figuur 4.7). Om de boom in evenwicht te houden is tijdens het afzinken een evenaar gebruikt.



Figuur 4.7: Hijssoog en afzinken bomen bij Wageningen

Om de bemonstering van macrofauna te vergemakkelijken zijn delen van de stam en het broekstuk van te voren demontabel gemaakt (figuur 4.8). Deze kunnen later door duikers naar boven worden gebracht om de macrofauna eraf te borstelen.



Figuur 4.8. Deel van de stam en broekstuk met demontabele onderdelen (foto's: A. Klink)

In oktober 2015 zijn in de Nederrijn bij Wageningen nog eens vier kastanjabomen aangebracht in twee diepe erosiekuilen (10m) aan de linkeroever, twee kribvakken stroomopwaarts van de boom-locaties op de rechteroever (uitstroompunt Lingekanaal) (figuur 3.6). Deze bomen (met broekstuk en takken) zijn met betonplaten verzwaard en hebben ook demontabele schors-panelen op de stam (figuur 4.9).



Figuur 4.9. Kastanjeboom wordt met betonplaten afgezonken in de Nederrijn bij Wageningen. De man in de kano maakt filmopnamen voor de documentaire 'Levende rivier' (foto: RWS)

4.2.4 Bomen in riviercorrigerende constructies

Schermen in de Redichemse waard, Culemborg

De schermen die het zandtransport in de bocht bij de Redichemse waard bij Culemborg moeten gaan sturen, zijn opgebouwd uit negen tot dertien paar boomstammen van Larix die verticaal in de bodem getrild zijn. Net als bij de rijshouten vooroevers zijn tussen de dubbele bomenrijen horizontaal liggende boomstammen aangebracht die een aaneengesloten scherm vormen. Bij de eerste rij (dichtst bij de oever) zijn deze bomen horizontaal in het werk op elkaar gestapeld. Bij de drie daarop volgende rijen is de techniek van aanbrengen aangepast omdat de handelingen op het schip te veel (dure) tijd in beslag namen. In het vervolg zijn de bomen doorboord en op de wal met een draadeind aan elkaar bevestigd. Deze 'prefab' schermen zijn vervolgens met het kraanschip tussen de staanders getild.

Bij het eerste bomenscherm is de bovenste (horizontale) rij bomen met kettingen aan elkaar verankerd om wegdrijven te voorkomen. Bij alle schermen zijn op de bovenste laag bomen metalen strips aangebracht om de bomen naar beneden te drukken. Ten slotte zijn om de 2,5 m metalen kettingen met twee betonblokken van 600 kg/stuk over de bomenrij aangebracht voor extra gewicht. Aan de kopse kant aan beide zijden is bij het eerste scherm nog een extra boom verticaal ingetrild om het scherm af te sluiten.



Figuur 4.10. Aanbrengen van bomen voor het eerste scherm (links) en het eindresultaat (rechts).

Ongeveer 150 m benedenstrooms van de schermen bij de Redichemse waard is een boom verankerd als vergelijking voor de ecologische effecten van de schermen. De verwachting is namelijk dat de schermen afwijkende effecten in elk geval op vis hebben, omdat de takken en het broekstuk niet aanwezig zijn. Om te kunnen inschatten wat het effect van de schermen is op vis, is naast een referentieoever ook een oever met een verzonken boom nodig. Deze locaties zijn nog niet bemonsterd voor vis en macrofauna. Het riviercorrigerende effect van de schermen wordt met multibeam-metingen vastgelegd door RWS. Dit is in augustus 2015 (nulmeting) gedaan en wordt na een hoogwater herhaald.

4.2.5 Overige locaties

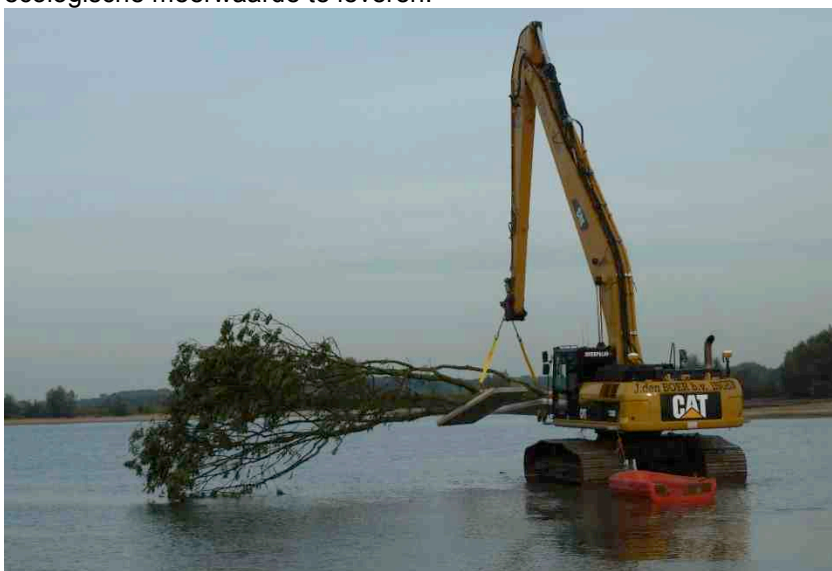
Naast de zojuist beschreven locaties van het pilotproject 'Rivierhout', is ook op andere plekken langs de Rijn inmiddels rivierhout aangebracht door andere initiatiefnemers (Bijlage 1). Zo heeft het Waterschap Vallei en Veluwe langs de IJssel in de nieuwe (KRW-)nevengeul Aersoltweerde op vier plekken eiken aangebracht. Deze hebben geen takken, maar wel een broekstuk (figuur 4.9). Omdat de geul een groot deel van het jaar een zeer lage waterstand heeft, liggen de bomen een groot deel van het jaar droog. Dit niet gunstig voor het ecologisch rendement. Wel is op deze plek een deel van het jaar stromend water aanwezig, waardoor erosie- en sedimentatieprocessen door de bomen beïnvloed worden, wat op de geulbodem zichtbaar is. Bij de macrofaunabemonstering in 2015 is dan ook in aanvulling op de bemonstering van de boom, ook de geulbodem rond de boom bemonsterd.



Figuur 4.9. Boom in de nevengeul bij Aersoltweerde.

In oktober 2015 zijn bij de opening van de nieuwe nevengeul bij Hurwenen langs de Waal twee bomen onder water aangebracht (figuur 4.10). Deze zijn met betonplaten verzwaard. De bomen zijn geplaatst op de overgang van de nevengeul naar de plas, waarbij de bomen het overgrote deel van het jaar voor het grootste deel onder water liggen.

Er komen steeds meer van dit soort projecten (zie ook paragraaf 4.2.6.), zowel in de Rijn als in de Maas. Langs de Maas bestaat overigens al langer het beleid om omgevallen bakenbomen op de rivieroever te verankeren om zo als rivierhout ecologische meerwaarde te leveren.



Figuur 4.10. Plaatsen van een net gerooide es in de nevengeul bij Hurwenen (foto: L. Jans, RWS)

4.2.6 Nieuwe plannen

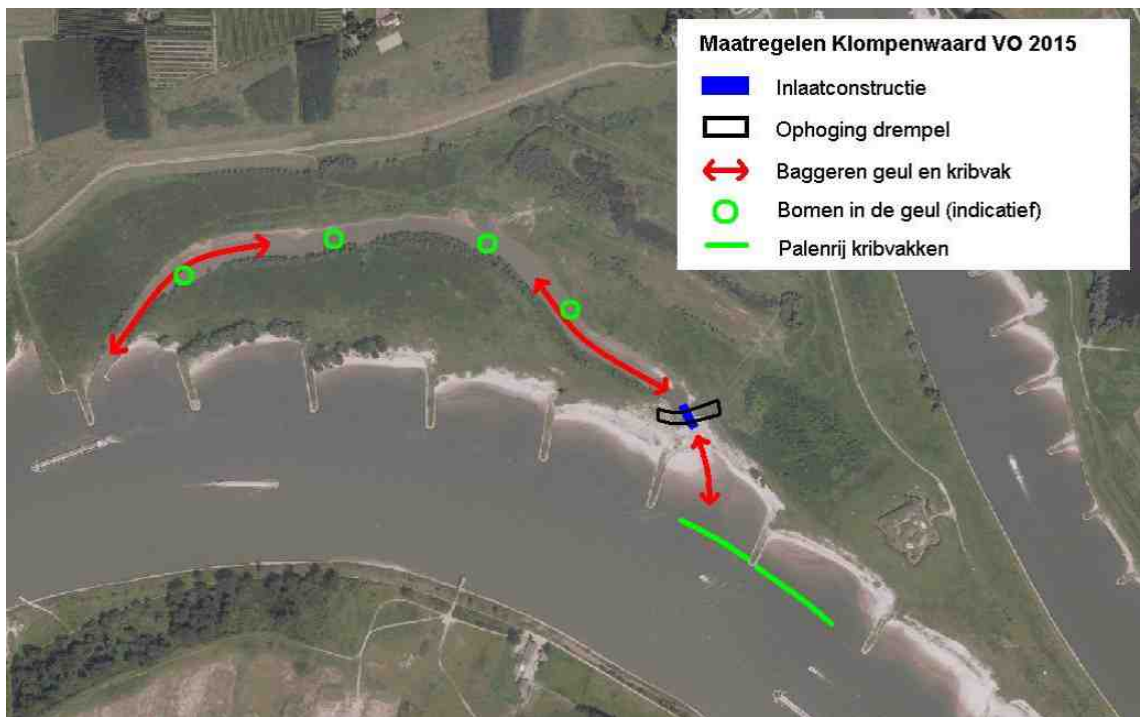
In 2015-2016 staan nog verschillende nieuwe projecten op het programma (zie ook tabel bijlage 1). Voorbeelden zijn de nieuwe hoogwatergeul bij Lent, waar een combinatie gemaakt gaat worden van historische bomen die ter plekke in de bodem zijn aangetroffen en nieuwe bomen die in de geul verankerd worden (bijlage 8). Ook is er een plan in voorbereiding om het (met een drempel) tweezijdig aantakken van de strang in de Klompewaard te combineren met het plaatsen van rivierhout in de geul (figuur 4.11). Een buitenkansje is het om ook bomen aan te brengen in de oevergeul die is ontstaan door de aanleg van de langsdam in de Waal tussen Wamel en Ophemert. Hier namelijk wel stroming, maar geen scheepvaart. Plannen hiervoor zijn in voorbereiding (bijlage 8).

Ook zijn er enkele locaties langs de Lek waar oeverbescherming gewenst is om terrestrische natuurwaarden te beschermen: Bij de Horde, een natuurgebiedje ten westen van Nieuwegein, dreigt een stuk stroomdalgrasland verloren te gaan door ongewenste oevererosie. Samen met de Provincie Utrecht gaat Rijkswaterstaat bekijken hoe middels het aanbrengen van rivierhout op de oever deze oevererosie gestopt kan worden (bijlage 7).

Bij Willige Langerak, ten oosten van Schoonhoven, vindt ook ongewenste oevererosie plaats. Hier onderzoekt Rijkswaterstaat samen met Deltares de mogelijkheden om een combinatie van rivierhout en rietmatten als oeverbescherming in te zetten (bijlage 8).

Ook wordt er gedacht over de inzet van rivierhout voor het opvullen van erosiekuilen ter bescherming van de rivierbodembodem. De tijdelijke opslag van het rivierhout dat hiervoor nodig is zou in het rivierwater zelf kunnen plaatsvinden, dat daarmee een aanvulling op het houtig substraat zou kunnen vormen, met name voor macrofauna⁵.

⁵ waarschijnlijk gaat het alleen om de stammen, niet de takken en wortels, waardoor de betekenis voor vis naar verwachting beperkt is



Figuur 4.11: Potentiële locaties voor rivierhout in de geul bij de Klompenwaard.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Kaderrichtlijn Water

Voor de bijdrage van rivierhout aan de KRW-doelen lijken de eerste resultaten positief: er komen meer soorten inheemse vis voor bij de bomen en in grotere dichtheden dan in de 'kale' kribvakken (zie bijlage 5 en Dorenbosch *et al* 2014). De bomen hebben een belangrijke functie in de levenscyclus van verschillende vissoorten. In hoeverre specifiek reofiele vissoorten hiervan profiteren, zal moeten blijken uit pilots in stromende riviertrajecten. Ook voor macrofauna zijn de eerste resultaten bemoedigend (zie bijlage 5 en Klink 2014). Vooral de snelheid van kolonisatie valt op, terwijl er geen hoogwater is geweest. Er zijn enkele zeldzame kenmerkende riviersoorten gevonden op het hout, terwijl op de stenen vooral de exoten domineren. De vraag is echter hoe deze ontwikkeling zich in de toekomst voortzet. Het kan een pionier-effect zijn omdat de bomen er pas kort in liggen. Vervolgmonitoring zal moeten uitwijzen of de macrofauna duurzaam profiteert van deze maatregel.

Methode

Ten aanzien van de bevestigingsmethode kan gesteld worden dat beide toegepaste methoden geslaagd zijn. Zowel het verankeren van de bomen met balken als het verzwaren met betonplaten heeft tot stabiele situaties geleid, waarbij de bomen na 1 jaar nog op precies dezelfde plek liggen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de grootste effecten te verwachten zijn bij hoogwater en dat dit nog niet heeft plaatsgevonden sinds de bomen erin liggen. Ook hiervoor geldt dus: goed blijven monitoren.

Tweede kanttekening is dat het verankeren met kettingen en stalen balken de voorkeur geniet boven betonplaten omdat het introduceren van kunstmatig substraat niet wenselijk is. Afhankelijk van de risico's (hydrodynamiek, scheepvaart) en terreinkenmerken (ligging oever, waterdiepte) wordt per geval bepaald wat de meest gewenste verankeringsmethode is. Ook de omvang en boomsoort kan hiervan afhangen. Zo kan in een kleine oevergeul een kleinere boom (en dus een lichtere verankering) gebruikt worden dan in een kribvak. Enige vorm van verankering is wel altijd gewenst, ook in nevenwateren langs de rivier, ook als de bomen worden 'omgetrokken' van de oever of omvallen, zoals de bakenbomen langs de Maas.

Duidelijk is wel dat het goed mogelijk is om rivierhout op een veilige manier aan te brengen in een bevaarbare rivier, zonder hinder voor de scheepvaart. Er zijn in 2014 geen klachten of vragen binnengekomen bij RWS die hier betrekking op hadden. In dit geval is geen nieuws goed nieuws.

5.2 Aanbevelingen

- Het verdient aanbeveling de proef verder uit te breiden naar nog meer stromende wateren omdat daar meer ecologisch effect verwacht wordt i.v.m. de morfologische processen die hier een rol spelen.
- Daarnaast zou het goed zijn te testen wat de waarde van rivierhout kan zijn in meer stagnante situaties, zoals uiterwaardplassen. Dit zijn namelijk plekken waar de randvoorwaarden vanuit veiligheid en scheepvaart veel minder stringent zijn, dus kan de maatregel nog gemakkelijker uitgevoerd worden.
- Het vinden van geschikte bomen is soms een belemmering. Het is ook mogelijk eerst de bomen te regelen en dan de locatie erbij zoeken. Zo kan bijvoorbeeld het programma Stroomlijn een kans bieden voor grootschalige toepassing van bomen in de rivier.
- Ligt de locatie dicht bij vaargeul: dan houten constructies gebruiken i.v.m. eventuele aanvaringen scheepvaart (schade aan de constructie en niet aan het schip).
- Bomen zo veel mogelijk integraal aanbrengen, dus inclusief takken en wortels. Deze verhogen het ecologisch rendement aanzienlijk.
- Alleen bij constructies waar rechte stammen noodzakelijk zijn (zoals in riviercorrigerende constructies) kan het handig zijn om voor houtsoorten als larix te kiezen.
- De bomen hoeven niet eerst gewaterd te worden. Voor toepassing als bescherming van de rivierbodem is dit wel aan te raden.

5.3 Kostenindicatie

De kosten voor het aanbrengen van rivierhout zijn sterk afhankelijk van de situatie ter plaatse, zoals de toegankelijkheid van het gebied, de waterdiepte, het bevestigingsmateriaal, de beschikbaarheid van bomen en de afstand waarover ze getransporteerd moeten worden. Bijgaande kosteninschatting is gebaseerd op de reeds uitgevoerde pilotprojecten en moet als een gemiddelde en globale indicatie voor de kostenraming beschouwd worden. Bij grotere hoeveelheden is kostenreductie mogelijk.

NB: Transportkosten kunnen hoog zijn en zijn afhankelijk van waar de bomen vandaan komen, of ze aan de weg liggen en of er een goede laad- en losplaats voor het kraanschip is. Daarom is het verstandig ook een post onvoorzien op te nemen.

- Uitgangspunt: boom (Eik) met stamdiameter minimaal 45 cm incl. gehele kluit, lengte van de boom minimaal 12 meter;
- Materiaalkosten boom, rooien en met de rupskraan aan de weg klaarleggen met voor transport: ca. € 700,- per boom;
- Transport over de openbare weg met dieplader en kraan voor laden en lossen bij transport over 10 km: ca. € 200,- per boom;

- Vastzetten aan stalen profielen: 4 stalen HE 160A profielen met lasogen en gelaste weerhaken., per boom ca. € 700,-;
- Kosten vastzetten boom met 10 ton's ketting met verbindingsschalm en stalen pin met lasringen (incl. arbeid), ca. € 750,-;
- Rupskraan transport boom naar rivier, trillen 4 HE profielen, boom ertussen plaatsen, incl. vastzetten: ca. € 300,- per boom;
- Afzinken boom aan gewicht: Betonplaat gewicht 3 ton (2 betonplaten per boom) 2 betonplaten kosten geleverd op locatie € 550,-;
- 10 ton's ketting met draaibaar hijs oog, stalen pin met lasringen: € 700,- per boom;
- Kosten kraanschip incl. arbeid per uur € 360,-.

5.4 Juridische zaken en beheer

Voor het aanbrengen van rivierhout is een watervergunning nodig voor externe initiatiefnemers. Zo houdt Rijkswaterstaat zicht waar locaties met rivierhout zijn. Voor initiatieven van RWS zelf is geen apart Projectplan Waterwet nodig, maar het kan wel als onderdeel opgenomen worden in een projectplan dat voor een herinrichting wordt opgesteld. Het rivierhout krijgt ook een plek in de beheer en onderhoudsplannen die voor deze herinrichtingsprojecten op gesteld worden. Losse bomen worden ook opgenomen in de instandhoudingsplannen van Rijkswaterstaat.

7 Literatuur

- Dorenbosch, M. ,J. Bergsma & W.M. Liefveld, *in prep.* Functie van rivierhout voor vis. Monitoring pilotprojecten IJssel Nederrijn, Lek..Buwa rapport nr: 15-255
- Dorenbosch, M. ,J. Bergsma & W.M. Liefveld, 2014. Functie van dode bomen voor vis in de Lek. Ecologische monitoring visgemeenschap 2014.Buwa rapport nr: 14-251
- Klink, A.G., 2010. Macrofauna op bakenbomen in de Bedijkte Maas. Een tussenstand na 4-5 jaar Hydrobiologisch Adviesburo Klink rapporten en mededelingen nr. 116 oktober 2011
- Klink, A.G. 2014. KRW proef bomen in de Nederrijn-Lek. Evaluatie eerste onderzoeksjaar 2014. Hydrobiologisch Adviesburo Klink rapporten en mededelingen nr. 138
- Liefveld, W.M. & A. Bak 2012. Natuurvriendelijke oevers langs de Lek. Evaluatie van zes jaar monitoring, Buwa Rapport nr. 12-219
- Liefveld, W.M. & M.M. Visser 2013. Dood hout in de Lek. Voorbereiding van een pilotproject. Buwa Rapport nr. 14-028
- Verdonschot, P., A. Besse, J. Eekhout & R. Fraaije, 2012. Beekdalbreed hermeanderen. STOWA rapport nr: 2012-36
- Van Geest, G., A. de Niet & S. Teurlincx, 2011 Waterplanten langs de Nederlandse Rijntakken. Huidige waarden. Aanbevelingen voor inrichting. KRW-Tool.

Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht locaties pilot rivierhout

Overzicht (mogelijke) locaties Rivierhout in de Rijntakken

16-okt-15

| | |
|---|---|
| X | Al gerealiseerd |
| X | Wordt ws./wellicht in 2015 of 2016 gerealiseerd |
| X | Mogelijke locatie |

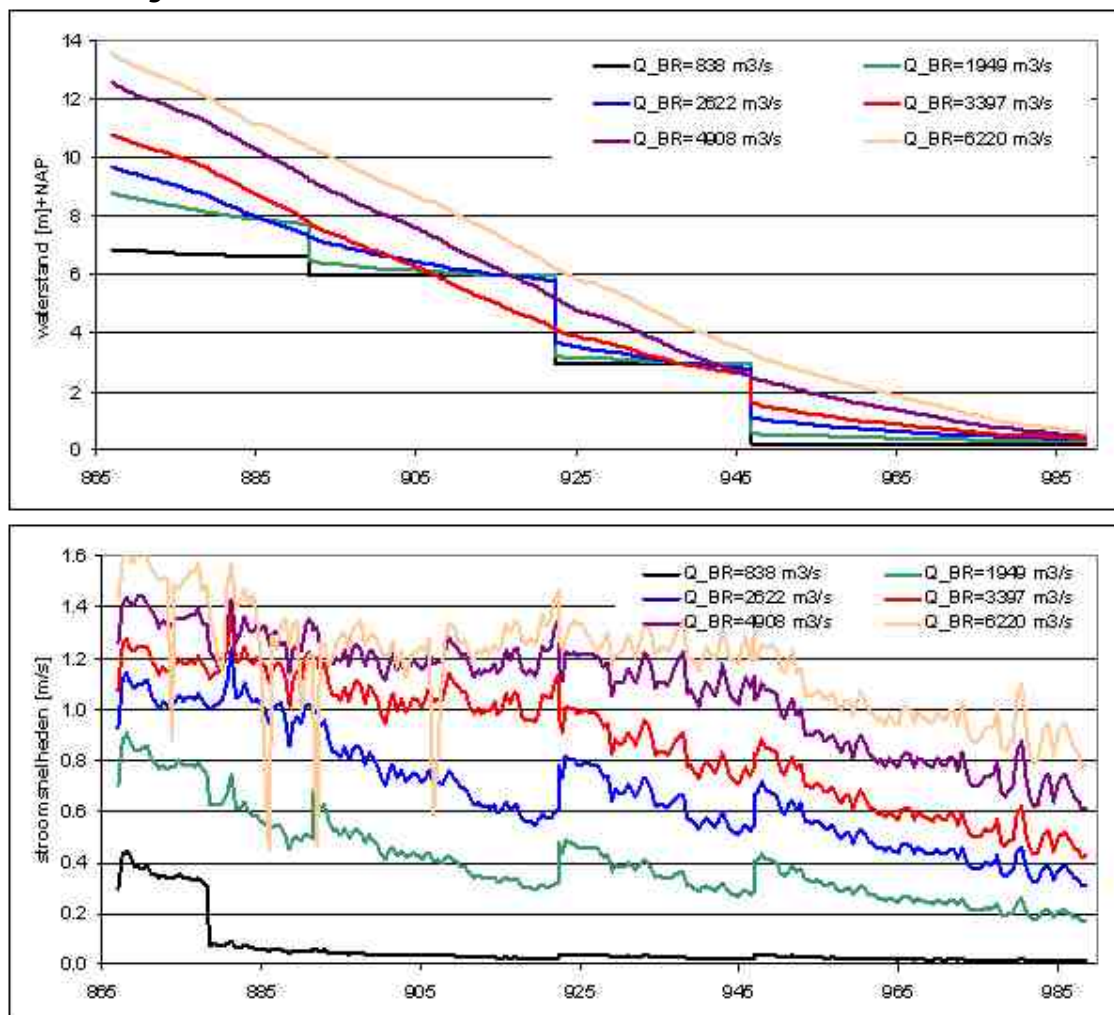
| Locatie | Nabij | Riviertak | Opmerkingen | Datum plaatsing van bomen | Locatie dode bomen | | | | | | Trekker voor realisatie |
|-----------------------|------------------|----------------|--|---------------------------|---------------------------|-----------|---------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | | | | Stromend water | | | (meestal) Stilstaand water | | | |
| | | | | | Kribvak / Oever hoofdgeul | Nevengeul | Vistrap | Strang | Kribvak / Oever hoofdgeul | Kribvak achter vooroever | |
| Amerongen/Maurik | Amerongen/Maurik | Nederrijn/Lek | | dec-13 | | | X | | | | RWS |
| Everdingen | Everdingen | Nederrijn/Lek | Losse bomen met takken | jan-14 | | | | X | X | X | RWS |
| Everdingen | Everdingen | Nederrijn/Lek | In schermen is een deel van het rijshout vervangen door dunne boomstammen | apr-15 | | | | | X | | RWS |
| Everdingen | Everdingen | Nederrijn/Lek | Losse bomen | okt-15 | | | | | | X | RWS |
| Wageningen | Wageningen | Nederrijn/Lek | losse bomen | jul-14 | | | | | X | | RWS |
| Wageningen | Wageningen | Nederrijn/Lek | 4 losse bomen | okt-15 | | | | | X | | RWS |
| Redichemse Waard | Culemborg | Nederrijn/Lek | 2 bomen in kribvakken | apr-15 | | | | | X | | RWS |
| Redichemse Waard | Culemborg | Nederrijn/Lek | 4 onderwaterschermen met gestapelde boomstammen (houtkrib) | apr-15 | | | | | X | | RWS |
| De Horde | Nieuwegein | Nederrijn/Lek | Oeververdediging | ?? | | | | | X | | RWS |
| Vier andere locaties | | Nederrijn/Lek | Oeververdediging | ?? | | | | | X | | RWS |
| Willige Langerak | | | Oeververdediging hout en riet | eind 2015/begin 2016 | | | | | X | | RWS |
| Klompewaard | | Bovenrijn | Geclusterde bomen met takken Wellicht ook bodemschermen met boomstammen | 2016? | | X | | | | | SBB |
| Millingerwaard | | Bovenrijn/Waal | | 2015/2016 | | X | | | | | RWS |
| Gamerense Waard | Gameren | Waal | Geclusterde bomen met takken | ?? | | X | | | | | RWS |
| Heesseltse waarden | Heesselt | Waal | Geclusterde bomen met takken | 2017? | | X | | | | | RWS |
| Hurwenense uiterwaard | Hurwenen | Waal | 2 geclusterde bomen met kroon en kluit | 12-okt-15 | | X | | | | | Provincie |
| Nevengeul Lent | Nijmegen | Waal | Geclusterde bomen met takken; combi met de archeo-bomen | begin 2016?? | | X | | | | | RWS |
| Langsdam | Tiel | Waal | Achter de langsdam | begin 2016?? | | X | | | | | RWS |
| Aersoltweerde | Hattem | IJssel | 4 losse bomen zonder takken | eind 2014 | | X | | | | | Waterschap |
| Stokebrandersweerd | Zutphen | IJssel | Geclusterde bomen met takken | ?? | | X | | | | | RWS |
| Ravenswaarden | | IJssel | | ?? | X | | | | | | |
| De Zande | Zalk | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |
| Gelderse Toren | Brummen | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |
| Rammelwaard | Voorst | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |
| Reuversweerd | Zutphen | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |
| Vorchterwaarden | Veessen | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |
| Welsommerwaarden | Welsum | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |
| Dorperwaarden | Terwolde | IJssel | ws. zo'n 10 bomen; wellicht ook geclusterd | 2016 | | X | | | | | RWS |

Overzicht coördinaten Rivierhout in de Rijntakken

Losse bomen

| Locatie | | Rivier/Waterlichaam | Boom id | x | y | Coördinaten ingeschat of in het veld exact bepaald? |
|-----------------------|-----------|---------------------|---------|--------|--------|---|
| Amerongen/Maurik | Vistrap | Nederrijn/Lek | 1 | 156623 | 442750 | gemeten |
| Amerongen/Maurik | Vistrap | Nederrijn/Lek | 2 | 156667 | 442769 | schatting |
| Everdingen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 3 | 140205 | 442288 | gemeten |
| Everdingen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 4 | 140234 | 442271 | gemeten |
| Everdingen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 5 | 140618 | 442139 | schatting |
| Everdingen | Strang | Nederrijn/Lek | 6 | 138557 | 442554 | gemeten |
| Everdingen | Strang | Nederrijn/Lek | 7 | 138557 | 442554 | schatting |
| Everdingen | Strang | Nederrijn/Lek | 8 | 138977 | 442282 | schatting |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 9 | 172326 | 440182 | gemeten |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 10 | 172340 | 440168 | gemeten |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 11 | 172356 | 440144 | gemeten |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 12 | 173343 | 440686 | gemeten |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 13 | 173332 | 440665 | gemeten |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 14 | 173322 | 440644 | gemeten |
| Aersoltweerde | Nevengeul | IJssel | 15 | 195490 | 502268 | gemeten |
| Aersoltweerde | Nevengeul | IJssel | 16 | 198808 | 502202 | gemeten |
| Aersoltweerde | Nevengeul | IJssel | 17 | 199154 | 502201 | Schatting |
| Aersoltweerde | Nevengeul | IJssel | 18 | 199274 | 502145 | Schatting |
| Redichemse Waard | Kribvak | Nederrijn/Lek | 19 | ?? | ?? | |
| Redichemse Waard | Kribvak | Nederrijn/Lek | 20 | ?? | ?? | |
| Hurwenense uiterwaard | Nevengeul | Bovenrijn/Waal | 21 | 148880 | 425420 | Schatting |
| Hurwenense uiterwaard | Nevengeul | Bovenrijn/Waal | 22 | 148880 | 425420 | Schatting |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 23 | | | |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 24 | | | |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 25 | | | |
| Wageningen | Kribvak | Nederrijn/Lek | 26 | | | |

Bijlage 2: Peilfluctuaties en stroomsnelheden Nederrijn Lek



a) Waterpeil in de Nederrijn-Lek bij verschillende afvoeren (Q) en b) stroomsnelheid bij verschillende afvoeren (Q) (gebaseerd op modelberekeningen RWS).

Bijlage 3: Overzicht monitoringsbehoefte rivierkunde

| factor / risico | parameter | monitoring | frequentie |
|--|--|---|--|
| ia) dwarsstroomsnelheid op de rand van de vaargeul (eventueel) | verschil in snelheden nabij kribben in aangepast en referentie kribvak | adcp-meting gedurende 4 scheepspassages op viertal plekken (Fig.1) | 1 maal, bij gesloten stuwen |
| ib) bodemhoogte in de vaargeul | Bodemhoogteverschillen ter plekke van de maatregel | Bodempelling in en rondom het traject van de maatregel | Jaarlijks |
| ic) vaargeulgebruik | Opmerkingen scheepvaart | Registratie relevante klachten en opmerkingen | Jaarlijks |
| id) vaargeulonderhoud | Onderhoudsinspanning ter plekke van de maatregelen. | Opvragen rapportage gepleegd onderhoud ter plekke van de maatregelen. | Jaarlijks |
| iiia) opstuwing "kribvakbomen" (eventueel) | Invloed bomen op extreme hoogwaterstand | Continue waterstandsmeting op 5+7=12 lokaties, in combinatie met snelheids/afvoermetingen op 5+7 raaien | Eenmaal bij hoogwater (>6000 m ³ /s bij Lobith) |
| iiib) opstuwing "binnenbochtbomen" (eventueel) | Invloed bomen op extreme hoogwaterstand | Continue waterstandsmeting op 5+7=12 lokaties, in combinatie met snelheids/afvoermetingen op 5+7 raaien | Eenmaal bij hoogwater (>6000 m ³ /s bij Lobith) |
| iiia) stabiliteit bodem rondom krib | Bodemveranderingen dicht bij de kribben bij de bomen | Bodempelling rondom de kribben bij de bomen <i>Eventueel registratie van positie&stand van boom.</i> | Jaarlijks |
| iiib) stabiliteit bestorting van de krib | Taludveranderingen van de kribben bij de bodem | Peiling op het onderwater-talud van de kribben | Jaarlijks |
| iiic) stabiliteit binnenbochtsoever | Hoogte verandering van de oever (zomerkade?) bij de bomen | Visuele inspectie van de oeverlijn bij de bomen. | Jaarlijks (begin en einde laagwaterseizoen) |

Bijlage 4: Monitoringsvoorstel macrofauna

Monitoringsvoorstel ten behoeve van het meten van de effecten van dood hout op macrofauna in kribvakken. Het uiteindelijke monitoringsprotocol is in sterk vereenvoudigde vorm hierop gebaseerd. Belangrijk zijn de hypothesen en daaruit volgende onderzoeksopzet. In de praktijk zijn uit kostenoverweging minder replica's genomen en met name minder referentiemonsters. Hierdoor neemt de kans af dat we statistisch onderbouwde uitspraken kunnen doen, maar houden we de trefkans op bijzondere soorten hoog.

Auteur: M. Dionisio Pires, Deltares – juli 2014

Deze bijlage dient als startpunt voor een discussie over hoe te kunnen bepalen wat de effecten van dode bomen in en nabij kribvakken op de abundantie en soortensamenstelling van macrofauna zijn. De vraag die met monitoring van de pilot in de Nederrijn-Lek beantwoord dient te worden is: welk effect hebben bomen in kribvakken op (in ieder geval voor KRW relevante) macrofauna en wat zijn de belangrijkste abiotische invloeden? Het voorstel moet voor de meetkundige dienst het uitgangspunt vormen voor het monitoringsplan (wat, waar en wanneer). Resultaten moeten passen in RWS format.

Op 27 mei heeft bemonstering van macrofauna plaatsgevonden om een nul-meting te hebben. De locaties van deze bemonsteringen zijn zichtbaar op de onderstaande kaartjes (groene sterren).

Het is goed om hypothesen te formuleren over de te verwachten effecten; hiermee kan het monitorprogramma eventueel aangescherpt worden. Vanwege de kosten kan mogelijk ook een deel van de monitoring vervallen. Door de monitoring te koppelen aan de hypothesen, geeft dit inzicht in welke hypothesen dan wel/niet beantwoord kunnen worden.

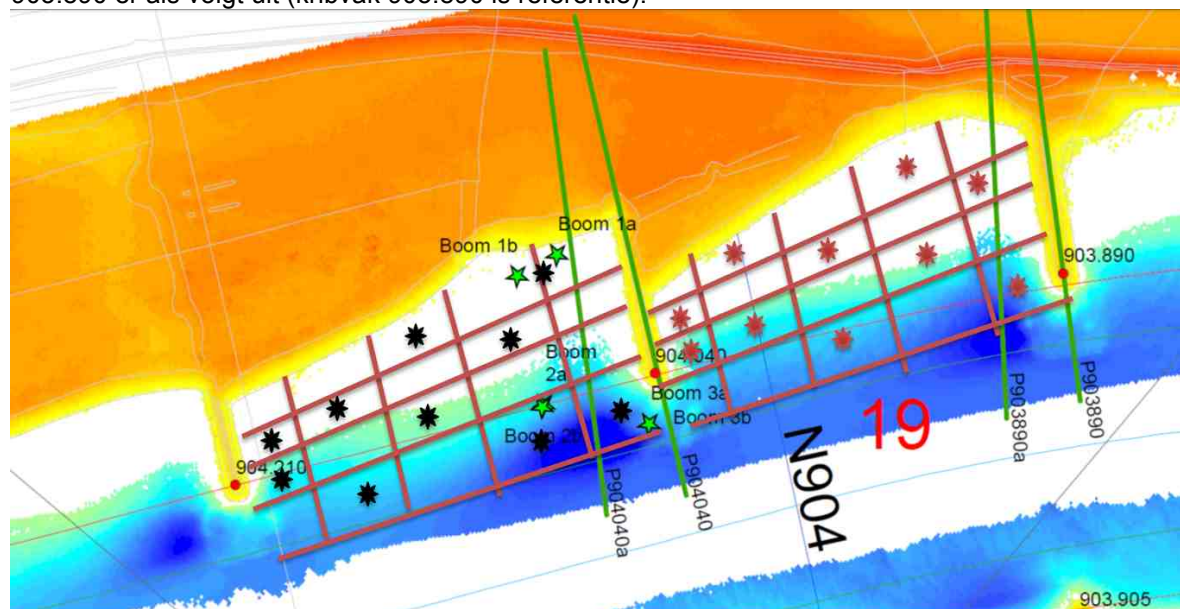
De hypothesen kunnen als volgt gerangschikt worden:

1. Effecten op hydromorfologie:
 - Leidt de aanleg van de boom tot kleinschalige variatie in diepte, bodemtype, stroomsnelheid, enzovoorts?
2. Effecten op gemeenschapniveau (afzonderlijk voor boom en bodem);
 - Effecten op soortensamenstelling; welke doelsoorten worden verwacht? Of groepen van soorten?
 - Effecten op relatieve abundantie (soortgroepen, functionele groepen?);
 - Absolute dichtheid;
 - Soortenrijkdom;
3. Link tussen hydromorfologie en soortensamenstelling levensgemeenschap
Effecten van bomen in kribvakken op macrofauna meten zouden idealiter als volgt gedaan worden:
 - Nulmeting in kribvak waar bomen in geplaatst zullen worden

- Nulmeting in kribvak waar geen bomen in geplaatst zullen worden (controle of referentie-locatie)
- Na zes maanden: meten in zowel kribvak met bomen als kribvak zonder bomen
- Na 1 jaar: idem

Liefst ook nog meerdere kribvakken met bomen en meerdere referentie kribvakken inzetten om variatie tussen kribvakken in beeld te krijgen, maar dat brengt uiteraard veel kosten met zich mee.

Het habitat in kribvakken is variabel. In de praktijk wordt er weliswaar op meerdere plekken bemonsterd om de habitatsvariatie in het kribvak mee te nemen, maar de monsters worden uiteindelijk bij elkaar gevoegd om één EKR score te kunnen berekenen. Het doel is echter om inzicht te krijgen of bomen een meerwaarde zijn voor het systeem en hoe die eventuele meerwaarde tot stand komt. Ik stel daarom voor om in dit project de bemonstering in de kribvakken zodanig te laten zijn dat de variatie gedekt is (dus als er ergens een plantenveld staat dan daarin ook monstereen, conform voorschrift RWSV) maar dat de monsters niet bij elkaar gevoegd worden. Op deze manier hebben we ook een beeld van de individuele bijdrage van elke monsterplek en daarmee kun je ook vaststellen hoeveel meerwaarde de bomen opleveren. Het niet poolen van de monsters geeft ook informatie weer over de bomenopzet die tijdens de meeting op 15 mei is besproken (kribvak 904.040): 1) in licht zonder stroming, 2) in donker zonder stroming en 3) in donker met stroming. Als inderdaad blijkt dat de bomen in de kribvakken van meerwaarde zijn voor de biodiversiteit van macrofauna dan zou dit uiteindelijk ook in de EKR tot uitdrukking moeten komen. De spreiding van de monsters moet zodanig zijn dat het kribvak representatief wordt weergegeven. Uitgaande van een voorbeeld-kribvak + hoofdgeul van 120x100 m dat 20 bemonsteringsvakken van 25x25 m² oplevert (e-mail van Arjan Sieben, 19 juni 2014), dan ziet de bemonstering voor de kribvakken 904.040 en 903.890 er als volgt uit (kribvak 903.890 is referentie):



In bovenstaande figuur is het kribvak in ongeveer 20 vakken opgedeeld. De sterren (zwart voor kribvak waar bomen in komen en bruin voor referentiekribvak) zijn de bemonsteringsplekken (bij bomen 1 a en 1b heb ik één monsterplek gemaakt). Het staat niet vast dat dat deze vakken moeten zijn (het is een voorbeeld) maar de opzet is om zowel van oost naar west als van oever naar hoofdgeul een zo gelijk mogelijke verdeling in monsterplekken te krijgen. Eén en ander hangt ook af van de mate van variatie in de kribvakken. Wat in ieder geval bemonsterd moet worden zijn natuurlijk de bomen zelf. Dit voorbeeld komt tot 10 monsterplekken per kribvak, maar als de habitatsvariatie laag blijkt te zijn dan is waarschijnlijk 7-8 monsterplekken voldoende (Alterra-rapport 2368). Om de monitoringskosten zo laag mogelijk te houden kan ervoor gekozen worden om in de kribvakken zelf het aantal monsters terug te dringen tot ongeveer 3, zeker als er weinig hydromorfologische variatie in de kribvakken is en ook geen waterplantenvelden aanwezig zijn.

Andere parameters die meegenomen dienen te worden zijn: sedimentsamenstelling (1x per jaar), bathymetrie (1x per jaar), stroomsnelheid. Het zou goed zijn als vantevoren (op zicht) een beeld verkregen zou kunnen worden van de variatie in de kribvakken (bijvoorbeeld: zijn er waterplantenvelden, is er op de bodem afwisseling tussen plekken met grote keien en plekken met fijn sediment?). Op basis hiervan kunnen de bemonsteringsplekken uitgezocht worden. Verder kunnen uit de MWTL database data over chemie gehaald worden (vooral de eutrofiëringsparameters fosfaat, stikstof-verbindingen, sulfaat).

Wanneer bemonsteren? Bij 2x per jaar bemonsteren geeft het Handboek Hydrobiologie als richtlijn voor KRW bemonsteringen op macrofauna aan dat deze in de periodes 1 maart tot 15 juni (voorjaarsbemonstering) en 15 augustus tot 1 november (najaarsbemonstering) dient te geschieden. Ervan uitgaande dat de bomen in September geplaatst worden, dan komt de najaarsbemonstering te vroeg. Voorstel is dan ook om de eerste bemonstering na plaatsing van de bomen in maart 2015 te laten plaatsvinden, gevolgd door een volgende bemonstering ongeveer 1 jaar na plaatsing van de bomen.

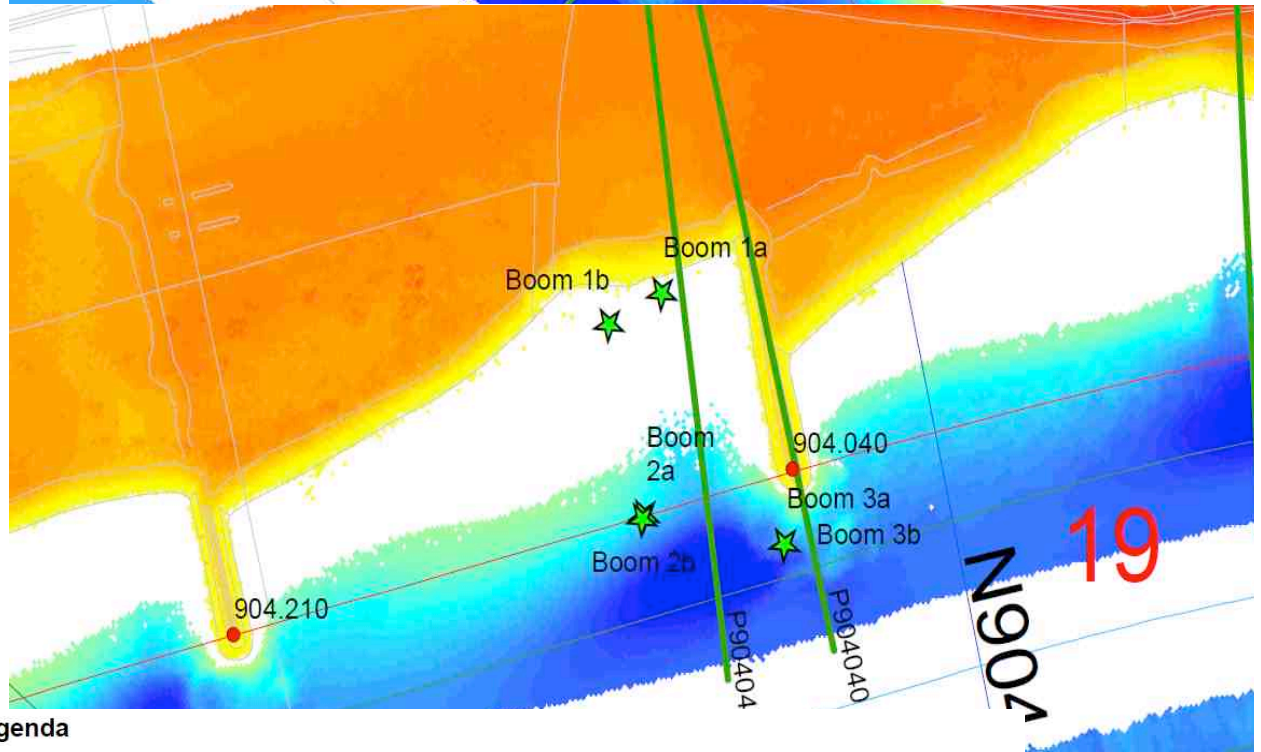
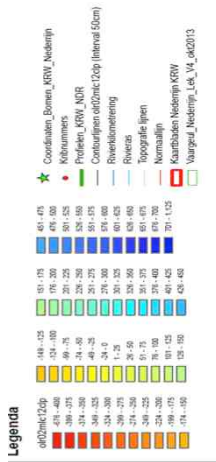
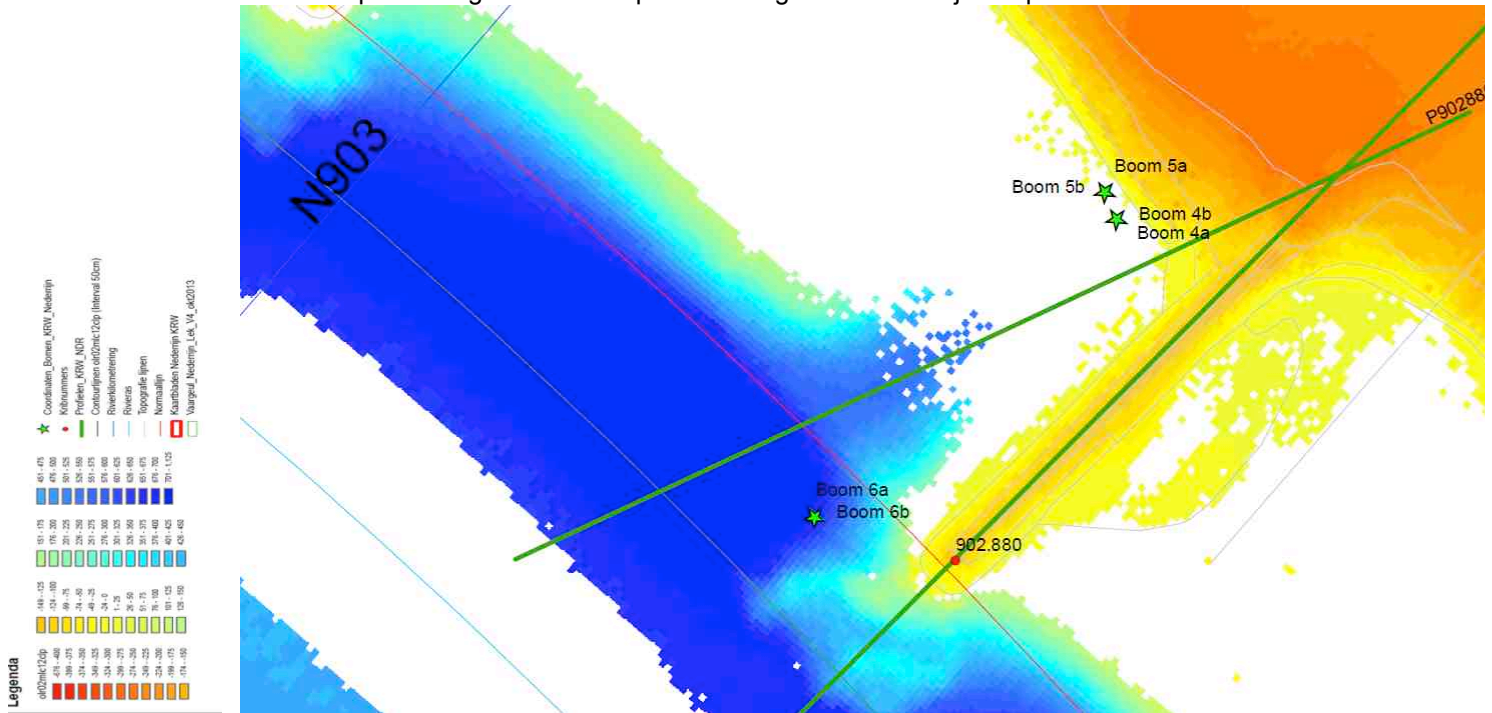
In Wageningen worden in augustus 2014 bomen geplaatst. Voor deze locatie is geen tijd om een nulmeting uit te voeren conform hierboven voorgesteld. Als alternatieve referentie kan een kribvak in de buurt gekozen worden die, op grond van hydromorfologie, veel overeenkomsten vertoont met de, voor plaatsing van de bomen beoogde, kribvakken. Dit kribvak kan dan gedurende de looptijd van het project als referentie dienen. Bovendien hoeft dit kribvak niet voor of tijdens plaatsing van de bomen bemonsterd te worden, maar kan ook 1-2 weken later worden bemonsterd. Liefst nog korter, maar dat is afhankelijk van de logistiek en beschikbaarheid van mensen en apparatuur. Voor de rest kan bovenstaand voorstel gevolgd worden.

Referenties:

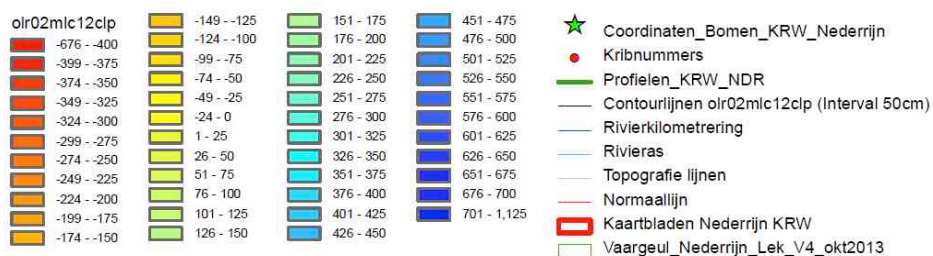
- Alterra rapport 2368 (KRW-monitoring rivieren: analyse van het benodigde aantal macrofaunamonsters).

- Handboek Hydrobiologie: Boek III.
- Voorschrift RWSV: Bemonstering van macrozoöbenthos en bodemsamenstelling in het litoraal en profundaal in zoete en brakke wateren. Methode: handnet, stenen, stenezak, v.Veenhapper, werpkorf en boxcorer.

Kaarten: locaties van nulmetingen waar tevens de bomen komen te liggen (groene sterretjes). De groene lijnen zijn de raaien met de grootste diepte. Langs deze lijn zijn de bodemprofielen gemaakt die op het overleg van 15 mei zijn besproken.



Legenda



Bijlage 5: Samenvatting resultaten ecologische monitoring

Monitoringsresultaten macrofauna

(Klink 2014)

Eind december 2013 zijn de eerste 3 bomen verankerd in de vistrap bij Maurik. In januari 2014 gevolgd door 6 bomen in de Lek bij Everdingen en in de afgelopen zomer zijn in de Nederrijn bij Wageningen 6 bomen afgezonken. Deze proef wordt uitgevoerd ten behoeve van de in 2027 te bereiken KRW doelen “schoon en ecologisch gezond water in de grote rivieren”.

De noodzaak om maatregelen te onderzoeken voor ecologisch herstel, zijn ingegeven door de EKR (Ecologische Kwaliteits Ratio) scores op de maatlaten van de KRW. De scores die met de reguliere monitoring worden gehaald zijn ontoereikend tot matig voor zowel de maatlat voornatuurlijke wateren als voor die van de sterk veranderende wateren.

De eerste resultaten van de proef zijn bemoedigend en laten zien dat bomen een impuls geven aan de biodiversiteit van de macrofauna in de Nederrijn-Lek met als gevolg een hogere EKR score ten opzichte van de bodem en stortsteen. Ze laten ook zien dat de permanente stroming in de vistrap bij Maurik leidt tot de kolonisatie van bijzondere stroomminnende soorten, met daarbij één soort dansmug (*Eukiefferiella minor*) nieuw voor Nederland.

De onderzochte boom in de vistrap bleek in het voorjaar dicht begroeid te zijn met de draadalg *Cladophora*. Deze is op haar beurt weer begroeid met verschillende groepen van kiezelalgen die het stapelvoedsel vormen voor de macrofauna. Uit de aangroei van deze algen op de bomen in de Nederrijn bij Wageningen blijkt dat ze nog in staat zijn om een op 6,5 m diep liggende boom te koloniseren. Blijkbaar dringt er zelfs op die diepte nog voldoende licht door. Het hoge aantal bijzondere soorten in de vistrap bij Maurik lijkt de resultante van:

- Plaatsing van de bomen in de winter en bemonstering in het voorjaar
- Permanente stroming
- Hoogwaardig voedsel (kiezelalgen) die zich op de *Cladophora* hebben gevestigd

De gestuwde Nederrijn-Lek staat een groot deel van het jaar nagenoeg stil en daardoor zijn de potenties als biotoop voor stroomminnende soorten (die hoog scoren op de maatlat) beperkt. Om inzicht in deze potentie te krijgen, zijn er bomen verankerd in stroomkuilen die ontstaan zijn stroomafwaarts van de kribkoppen. Ter vergelijking zijn er ook bomen in een raai naar ondieper water afgezonken. De koloniseduur van deze bomen bedroeg slechts 2 (zomer) maanden waarin één soort stroomminnende kokerjuffer zich heeft gevestigd op een boom in de stroomkuilen op een boom in het midden van de raai. We wachten met spanning af wat de voorjaarsbemonstering van 2015 zal opleveren. Het voorjaar is namelijk de periode waarin de meest kenmerkende soorten gevangen worden en daarom wordt hier ook het advies gegeven om de KRW monitoring niet meer in het najaar uit te voeren, maar te verplaatsen naar het voorjaar.

Monitoringsresultaten vis

(Dorenbosch et al 2014)

Voor de 20^e eeuw werden de Nederlandse rivieren gekarakteriseerd door de aanwezigheid van grote hoeveelheden dood hout in het stroombed van de rivier, bijv. grote omgevallen bomen. Deze dode bomen vormden belangrijke habitats voor tal van inheemse aquatische fauna die tegenwoordig (zeer) zeldzaam is. In het huidige rivierengebied is vrijwel geen ruimte voor de aanwezigheid van rivierhout. Dientengevolge is ook fauna die geassocieerd is met dit habitatype (zoals macrofauna en vis) sterk achteruitgegaan.

Een van de maatregelen om de ecologische diversiteit van het huidige rivierengebied te verbeteren, is het herstellen van natuurlijke processen en dynamiek. Om de natuurwaarde te vergroten en de doelen van de KRW te bereiken, wil Rijkswaterstaat Oost Nederland het habitatype grote dode bomen in het rivierstroomgebied gedeeltelijk terugbrengen. Als proef zijn in januari 2014 op enkele locaties in de Lek bij Everdingen grote dode bomen geplaatst door deze kunstmatig en gecontroleerd te laten afzinken in kribvakken en in een strang langs de rivier.

Om het effect van het plaatsen van dode bomen in de rivier op de visgemeenschap te evalueren heeft in 2014 een vismonitoring plaatsgevonden op de locaties bij Everdingen waar dode bomen zijn geplaatst. De vismonitoring diende enerzijds inzicht te geven of dode bomen door vissen gebruikt worden en anderzijds welke functies dode bomen voor vis hebben. In de periode mei – oktober zijn vier locaties met dode bomen en drie traditionele oevers zonder dode bomen (referentieoevers) in de strang en kribvakken in de Lek bij Everdingen onderzocht op de samenstelling van de visgemeenschap. Hierbij is gewerkt met een combinatie van elektrovisserij, fuikvisserij, onderwatervideo-observaties en sonarobservatie.

In totaal zijn 16 vissoorten waargenomen waarbij de soortenrijkdom van de dode bomen hoger was dan die van de referentieoevers (15 versus 13 soorten). De soorten behoorden tot het eurytope, limnofiele en rheofiele gilde, daarnaast werden exoten aangetroffen. De visgemeenschap van de dode bomen werd gedomineerd door blankvoorn en baars terwijl de visgemeenschap van de referentieoevers volledig door exotische zwartbekgrondels werd gedomineerd. Bij de dode bomen zijn in beperkte mate ook stromingsminnende (rheofiele) vissoorten waargenomen: alver, winde en sneep.

De dode bomen fungeerden zeer waarschijnlijk als paai- en opgroeihabitat. Er zijn hoge abundanties vislarven (o.a. blankvoorn en alver) en juveniele vis aangetroffen (o.a. blankvoorn, baars en snoekbaars). Voor soorten zoals baars en blankvoorn is het waarschijnlijk dat gepaaid is bij dode bomen. De driedimensionale structuur van de bomen (vooral de takken) vormt waarschijnlijk geschikt substraat voor viseieren en herbergt structuur in de waterkolom waar vislarven en juveniele vissen kunnen schuilen.

Behalve als paai- en opgroeihabitat fungeerden de dode bomen ook als foerageer- en schuilhabitat. De dode bomen worden als foerageerhabitat gebruikt door verschillende soorten vis, o.a. blankvoorn en baars die foerageren nabij de takken en in het sediment nabij de bomen en piscivore snoekbaarzen die prederen op juveniele vissen

die zich bij de bomen ophouden. Daarnaast blijken palingen veelvuldig 's nachts bij de dode bomen te foerageren. Overdags hebben de dode bomen naast een foerageerfunctie ook een belangrijke schuilfunctie: vissen aggregeren tussen de takken en nabij de stam en wortels. Gedurende de nacht verlaten vissen het habitat om in de omringende gebieden te foerageren.

Een belangrijke bevinding in het onderzoek is dat dode bomen relatief meer gebruikt worden door inheemse vissen dan door exoten, in tegenstelling tot de traditionele (stortsteen)oevers waar de exotische zwartbekgrondel doorgaans dominant is.

De gegevens in het onderzoek lijken ook aan te tonen dat dode bomen in de kribvakken door meer vissoorten gebruikt worden dan bomen in de strang. In de strang is stroming het grootste deel van het jaar afwezig waardoor de strang zich kenmerkt door een lager doorzicht en hoger slibgehalte dan de kribvakken. Daarnaast is de connectiviteit van de kribvakken ten opzichte van de rivier beter dan ten opzichte van de strang waardoor vissen uit de rivier de bomen in de kribvakken eerder vinden dan in de strang.

Het onderzoek is uitgevoerd in 2014. De rivierafvoer van de Lek was in de periode maart – juli 2014 extreem laag in vergelijking met andere jaren. Dit kan invloed hebben gehad op de visgemeenschap zoals die in 2014 is aangetroffen. Mogelijk dat de visgemeenschap nabij de dode bomen jaarlijks onderhevig is aan veranderingen op basis van het afvoerregime van de Lek.

In zijn algemeenheid kan echter gesteld worden dat de dode bomen zeer snel door vissen worden gebruikt en op basis van hun driedimensionale structuur een belangrijke meerwaarde hebben voor riviervissen ten opzichte van traditionele oevers die gekenmerkt worden door stortsteen of een kale zand- of slibbodem.

Aanvulling 2015

In 2015 is de visbemonstering voor het rivierhout alleen in de maand juli uitgevoerd. Deze maand is het meest geschikt om de functie voor juveniele vis in beeld te brengen. Daarnaast is gedurende de hele periode maart-oktober aanvullende video-monitoring uitgevoerd met behulp van onderwater camera's. Nieuw in 2015 is de bemonstering van de nevengeul bij Aersoltweerde langs de IJssel.

De resultaten van de visbemonstering in 2015 bevestigen in grote lijnen de bevindingen van 2014. In Everdingen zijn de concentraties exoten weer het hoogst bij de stortstenen oevers terwijl de inheemse soorten meer voorkomen bij het rivierhout, maar ook bij de natuurlijke structuren van rietoevers en het dode hout dat van nature al aanwezig was in de strang. De resultaten bij Aersoltweerde zijn weer anders dan in Everdingen. Hier zijn meer reofiele soorten gevonden (o.a. winde, barbeel en sneep), maar de verschillen tussen de sublocaties (rivierhout-stortsteen-kleioever) zijn minder eenduidig. Wel zijn bij de zegenbemonsteringen de hoogste dichtheden juveniele barbeel bij het rivierhout aangetroffen, maar winde werd bijvoorbeeld weer meer bij de klei-oever gevonden.

De video-opnamen vormen een belangrijke aanvulling op de traditionele bemonsteringen omdat ze inzicht geven in het gedrag van de vissen en niet alleen in

het voorkomen. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat de juveniele vis overdag echt schuilt tussen de takken bij Everdingen en het hout in de vistrap meer een functie voor korter verblijft heeft, als tussenstop. Ook is te zien dat er gefoerageerd wordt op het hout, zowel door algen- en macrofauna-eters als door viseters. Hierbij is ook een vissende aalscholver tussen het rivierhout waargenomen.

De resultaten laten zien dat de functie van het rivierhout per watertype verschilt. Langs de Lek bij Everdingen is het een belangrijk opgroei habitat voor inheemse vis, maar vooral voor eurytope soorten zoals blankvoorn die in dit gestuwde deel van de rivier veel voorkomen. In de vistrap heeft het hout meer de functie van rust- en foerageerplek als tussenstop in de migratieroute. In de geul bij Aersoltweerde zien we ook reofiele soorten, omdat deze ook in de hoofdstroom voorkomen. Het verschil tussen sublocaties is hier minder eenduidig. Dit kan te maken hebben met het feit dat deze locaties enigszins heterogeen zijn (de locatie met stortsteen ligt bijvoorbeeld vlak bij de monding van de geul in een zeer waterplantenrijk nevenwater), maar ook zijn de bomen zelf hier anders van aard: zonder takken en ver van elkaar. Wel zien we in deze nevengeul ook morfologische processen op de bodem op gang komen. Toekomstig onderzoek zal meer inzicht geven in de rol van het rivierhout in stromende riviertrajecten.

Overzicht monitoringslocaties, perioden en methoden

| | | Macrofauna | | Vis | |
|----------------------|-------------|-------------------|---|----------------------------|------------------------------|
| | Jaar | Periode | Methode | Periode | Methode |
| Everdingen | 2014 | najaar | takken zagen | maandelijks mei-oktober | elektro-fuik- video |
| | 2015 | voorjaar + najaar | takken zagen + stofzuiger | juli | elektro-fuik- video |
| Amerongen | 2014 | voorjaar + najaar | hele boom afspoelen (voorjaar) + takken zagen | - | - |
| | 2015 | voorjaar + najaar | takken zagen | juli | elektro-fuik- zegen-video |
| Wageningen | 2014 | voorjaar + najaar | platen borstelen | - | - |
| | 2015 | voorjaar + najaar | platen borstelen + stofzuigen | - | - |
| Aersoltweerde | 2014 | - | - | - | - |
| | 2015 | voorjaar + najaar | wortels zagen + stofzuigen | juli | elektro-fuik- zegen |

Bijlage 6: Ontwerp en aanleg KRW-pilots getijde-Lek

Ontwerp KRW-pilots eroderende Lekoevers, d.d.03-12-2015, Arjan Sieben RWS WV

- 1 Achtergrond**
- 2 Ontwikkelingen in de oeverlijn**
- 3 Waterstanden**
- 4 Bodemliggingen**
- 5 Principe oplossingen**
- 6 Stabilisatie van het talud door plaatsing van hout**
- 7 Verminderen hydraulische belasting met vooroevers**
- 8 Vermindering hydraulische belasting met drijvende bomen**
- 9 Voorkeursvariant**
- 10 Nader ontwerp linkeroever (lage steilrand) km 865.8**
- 11 Nader ontwerp rechteroever (hoge steilrand) km 967.5**

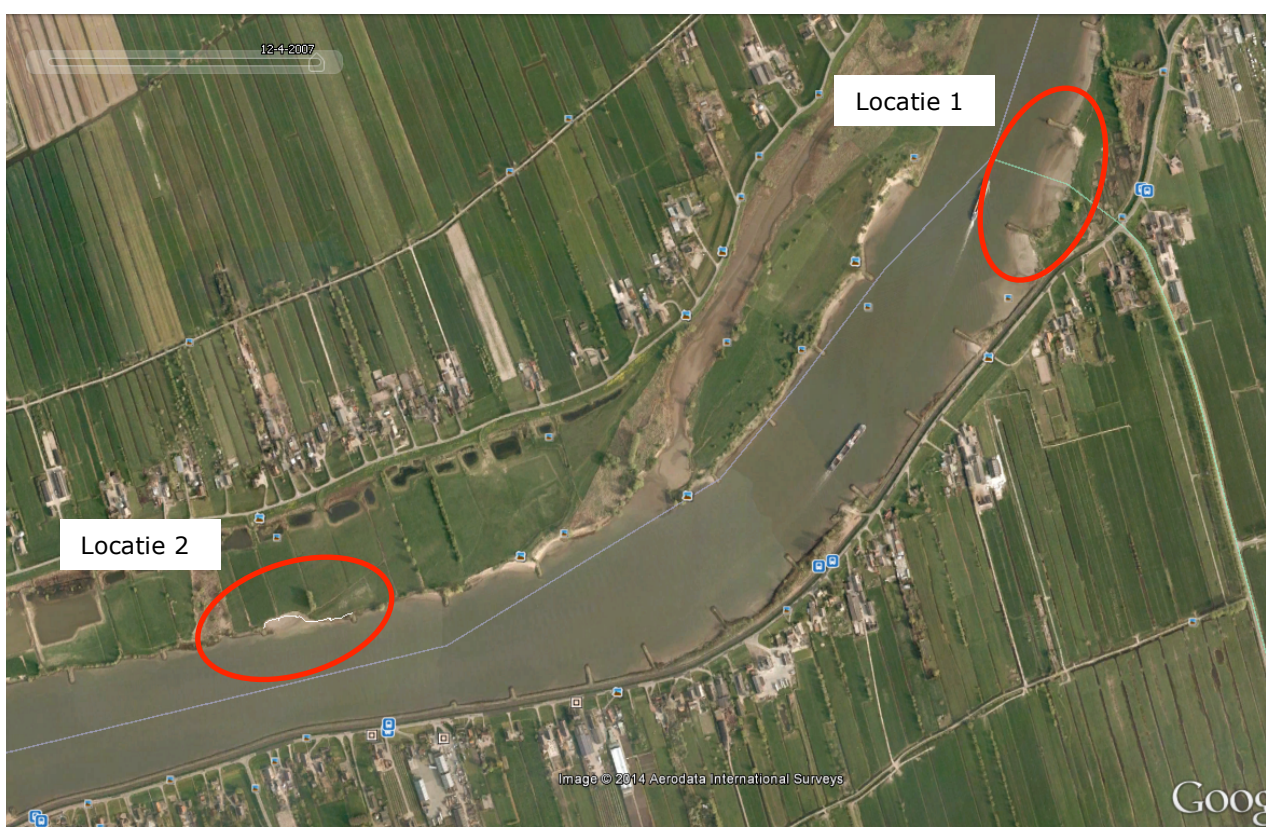
Bijlage A Verankering van de drijvende bomen

1) Achtergrond

Het district overweegt uitvoering van een pilot gericht op zowel verhoging van KRW-waarden als versterking van rivierfuncties, door toepassing van hout. In dit document worden een tweetal lokaties langs de Lek beschreven die hiervoor in aanmerking zouden kunnen komen:

Locatie 1 (linkeroever km 965.8); bestaande kribvakoever aan een N2000 gebied met snelle afslag in de laatste jaren. De oever is eigendom van Waterschap Rivierenland (WR) (*of heeft de staat de oever en WR het achterliggend land?*). Bij uitvoering van een eventuele pilot ten behoeve van KRW waarbij verdere erosie van de oever wordt beperkt, is 50% cofinanciering vanuit het WR mogelijk.

Locatie 2 (rechteroever km 967.5); progressief eroderende oever na verwijdering van oeververdediging. De Staat is eigenaar van de eroderende oever, Staatsbosbeheer en een particulier bezitten het achterliggend gebied. Het gaat om N2000 gebied waar afslag moet worden voorkomen.



Figuur 1 Twee lokaties in de Getijde Lek met oeverosie.

In deze notitie worden een aantal opties voor KRW-pilots verkend. Bij die pilots gaat het niet alleen om versterking van KRW-waarden, maar ook om behoud van de oevers. Maarten van der Wal heeft namens Deltares bijgedragen aan eerdere versies van deze notitie¹.

¹ Deltares memo, bijdrage principe ontwerpen bescherming kribvakken in de Lek, Maarten van der Wal 15-10-2014

2) Ontwikkelingen in de oeverlijn

De veranderingen op locatie 1 zijn voor de jaren 2005, 2007 en 2014 weergegeven in Fig.2. Het kribvak lijkt in 2007 wat minder diep dan in 2005, ook de bodem in de bovenstroomse oksel lijkt wat hoger te liggen. De oeverlijn in 2007 komt grotendeels overeen met de oeverlijn in 2005. Er is op de luchtfoto's wel een significant verschil in oeverlijn te zien op de opnamen uit 2014 en 2007. De oeverlijn is in die periode circa 20 m opgeschoven in het bovenstroomse deel van het kribvak. In 2009 is de stortlaag op de krib bovenstrooms van het kribvak gedeeltelijk hersteld. Naar het schijnt heeft de oeverafslag met name sinds dat jaar plaatsgehad (gemiddeld ruim 3 m/jaar).



Figuur 2 Ontwikkelingen in oeverlijn op locatie 1 (linkeroever km 965.8). Afstand tussen kribben circa 215 m.



Figuur 3 Ontwikkelingen in oeverlijn op locatie 2, (rechteroever, km 967.5). Afstand tussen kribben 167 m.

In Fig.3 zijn de ontwikkelingen op locatie 2 weergegeven. Daar is langs de rechterbinnenbocht sprake van een redelijk hoge zandige/kleiige oever. De erosie vindt plaats sinds de verwijdering van de oeververdediging tussen

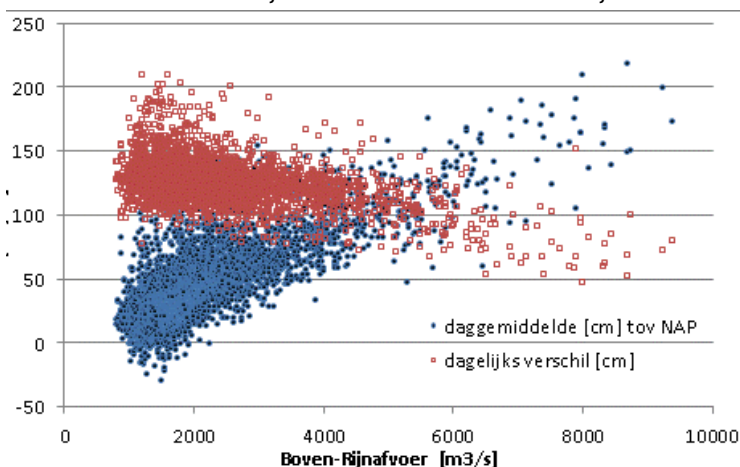
de twee kribben in 2000. De afslag is met name in herfst significant. De door de afslag ontstane zandige/kleiige steilrand is 1.5 a 2 m hoog. Aan de voet daarvan is een flauw en zandig kribvakstrand met een helling van 1:10 á 1:15.

De oeververdediging is tussen de beide kribben verwijderd in 2000. Zoals in Fig.3 is te zien vindt ter plekke van de benedenstroomse krib de eerste oevererosie plaats. Deze bres breidt zich vervolgens langzaam landin- en stroomopwaarts uit. In 2005 is de oeverlijn tot 20 m landinwaarts opgeschoven (circa 4 m/jaar). Tussen 2007 en 2005 groeit de bres vergelijkbaar. Het verschil in oeverlijn tussen 2014 en 2007 is met name het bovenstrooms deel van het kribvak significant; in 7 jaar is de bres tot maximaal circa 40 m landinwaarts (3 m/jaar) en 70 m stroomopwaarts (10 m/jaar) uitgebreid.

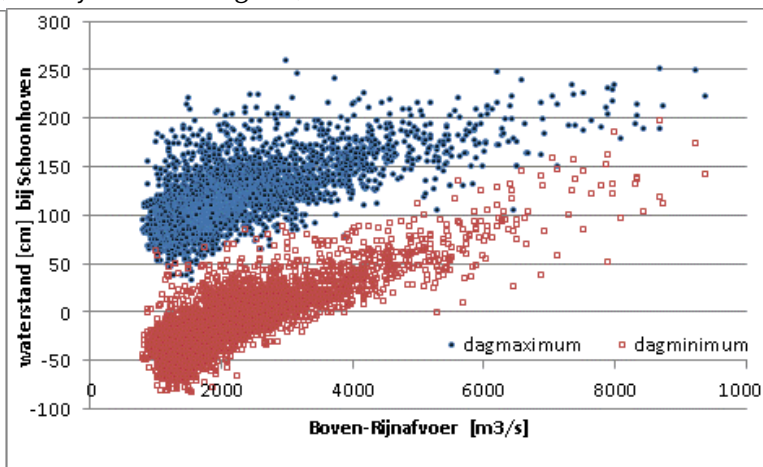
3) Waterstanden

Het dichtstbijzijnde meetstation ligt bij Schoonhoven (km 972), dus circa 6 km stroomafwaarts van de beide pilot lokaties (Locatie 1 op de linkeroever bij km 965.8 en Locatie 2 op de rechteroever bij km 967.5). In de situatie met gesloten stuwen zijn de karakteristieke waterstanden bij Schoonhoven ook representatief voor de waterstanden op de pilotlokaties. Voor geheven stuwen kan het waterstandsverval tussen pilotlokaties en meetstation Schoonhoven min of meer lineair met de Boven-Rijnafvoer toenemen (circa 0.25 m bij 4500 m³/s).

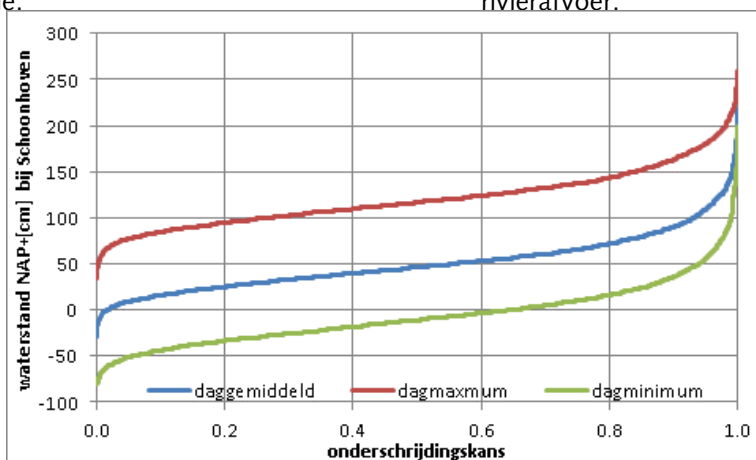
Het dag-gemiddelde, het dagmaximum en het dagminimum van de waterstand bij Schoonhoven (km 972) lopen min of meer lineair op met de rivierafvoer van de Boven-Rijn (Fig.4-a en 4-b). Door getijde is er bovendien sprake van een dagelijks waterstandsverschil dat met toenemende afvoer langzaam afneemt van 100-150 cm bij 900 m³/s tot 100-125 m bij 4500 m³/s (rode symbolen in Fig.4-a).



Figuur 4-a Daggemiddelde waterstand bij Schoonhoven (2000-2011) en de dagelijkse waterstandvariatie.



Figuur 4-b Dagmaxima en dagminima van waterstanden bij Schoonhoven als functie van de rivierafvoer.

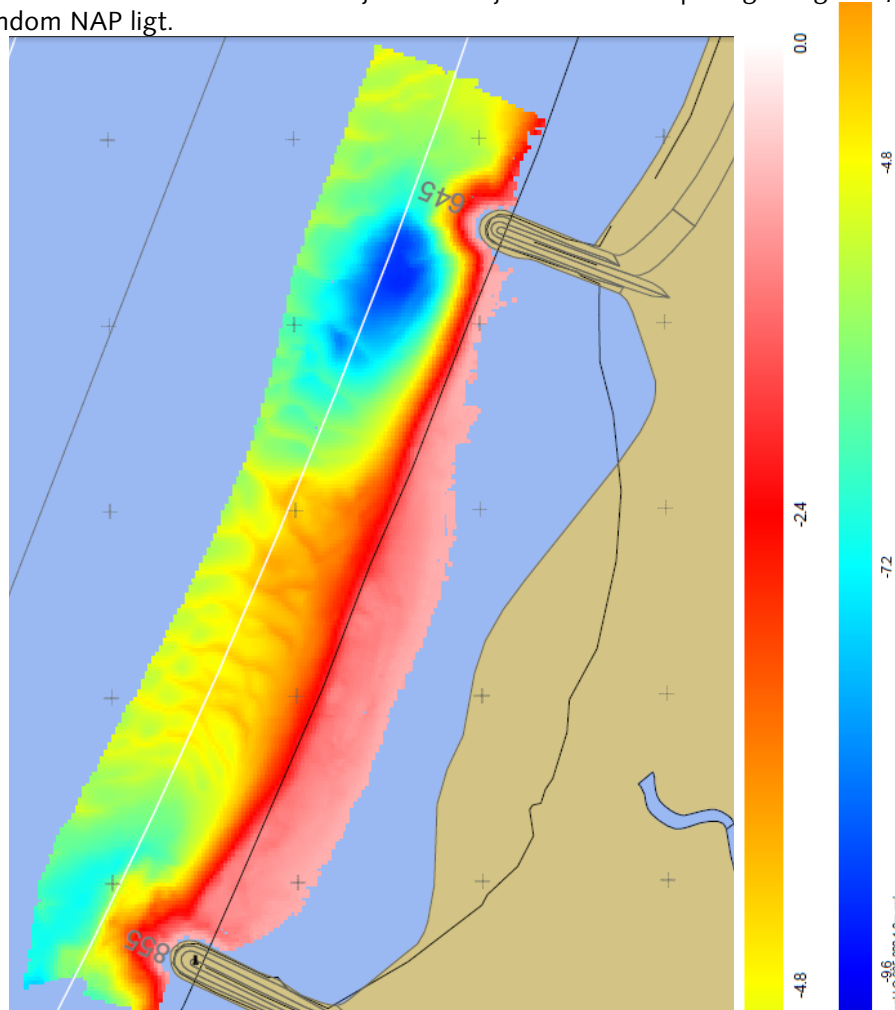


Figuur 4-c Waterstandsonderschrijdingskromme (gemeten waterstanden Schoonhoven, 2000-2011)

Grofweg geldt dat voor afvoeren tot 4.000 m³/s de waterstand bij Schoonhoven met een range van 2.5 m varieert tussen NAP-0.75 m en NAP+1.75 m (Fig.2-b).

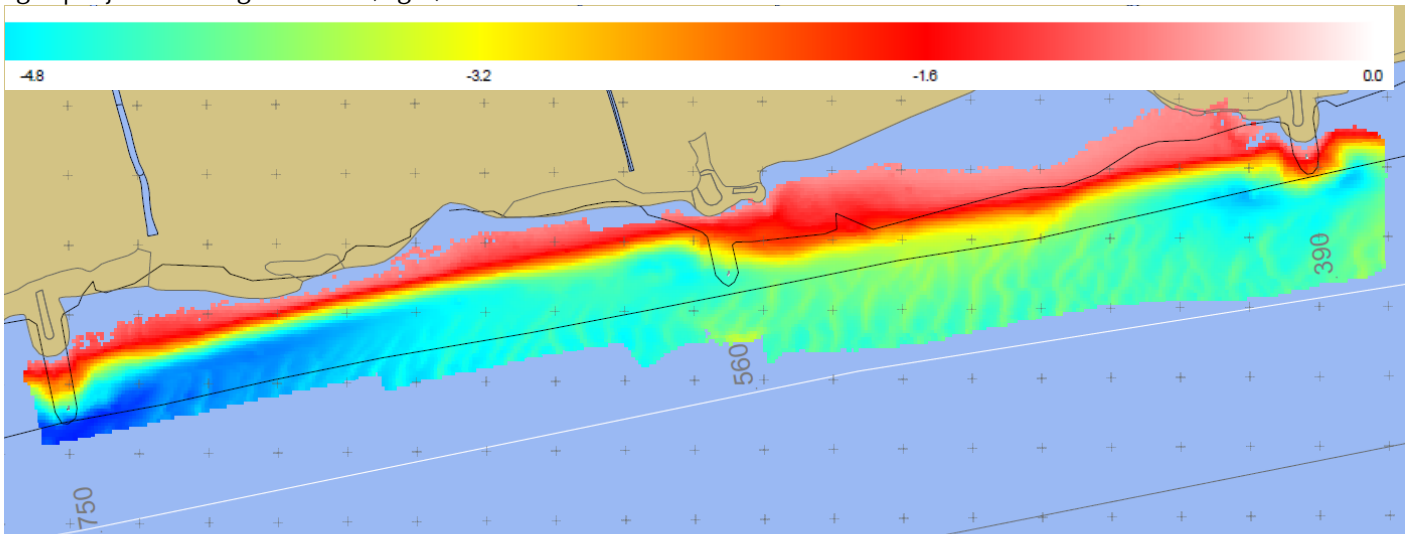
4) Bodemligging

Op locatie 2 bestaat de steilrand van de eroderende oever uit klei en wat zand. De steilrand is circa 1.0 á 1.5 m hoog met een oude (bakstenen) stortlaag (1 á 2 steens dik) ongeveer een decimeter onder maaiveld). Het onderwatertalud voor de steilrand lijkt behoorlijk flauw. Uit de peiling in Fig.6 blijkt dat dit onderwatertalud rondom NAP ligt.



Figuur 6 Bodemligging van de onderwateroever, [m]+NAP gepeild November 2014.

De hoogte van de steilrand op locatie 2 varieert tussen 1.5 en 2.0 m; deze grootte orde is goed vergelijkbaar met de waterstandsvariatie. Het niveau van de steilrand-teen is grofweg iets boven NAP. Het onderwatertalud ligt op bij benadering NAP-0.8 (Fig.7).



Figuur 7 Bodemligging van de onderwateroever, [m]+NAP gepeild November 2014.

5) Principe oplossingen

Het oevererosie-proces vindt plaats in twee stappen i) losraken van oevermateriaal door golfaanval op de steilrand en ii) afvoer van erosiemateriaal met de stroming door het kribvak. Het losraken vindt plaats als bij het breken van een golf op de oever sediment direct losraakt, maar ook als het steilrandprofiel zo steil is geworden dat grasblokken en kleiblokken van hogere delen uit de steilrand vallen. Deze blokken desintegreren vervolgens op het kribvakstrand verder, onder invloed van de dynamiek van het water. De oevererosie verhevigt waarschijnlijk in de herfst onder invloed van grotere windgolven en hogere grondwaterstanden (groter gewicht verzadigde grond en bij zandlagen in de steilrand een verminderde korrelstabiliteit door meer uittredend grondwater).

Er zijn drie oplossingsrichtingen denkbaar;

- a) het talud stabiliseren, bijvoorbeeld door dit tot een helling van 1:3 aan te storten/af te graven en dat af te dekken met een beschermingslaag (grind, of breuksteen)
- b) de hydraulische belasting verminderen.
- c) Een combinatie van talud stabilisatie en demping van hydraulische belasting

Voor optie a) is toepassing van (levend/dood) hout goed denkbaar (doorgroeibare verdediging) maar de invloed hiervan op KRW-doelsoorten in de rivier is vermoedelijk beperkt. Daarom wordt deze optie hier minder uitvoerig beschouwd. Afzien van optie a) heeft wel een consequentie. Omdat een steilrand per definitie geotechnisch instabiel is zal zelfs als met optie b) de hydraulische belasting volledig van de oever zou worden weggenomen, nog enige rest-erosie plaatsvinden tot dat een talud is ontstaan dat past bij de hoek van inwendige wrijving (dus orde 5 á 6 m verdere achteruitgang van de steilrandtop).

Het verminderen van de hydraulische belasting vindt plaats in het ondiepe water voor de oever. Als dit gepaard gaat met plaatsing van hout onder water en de ontwikkeling van riet of biezenvegetatie heeft dit potentie voor KRW. Daarom wordt dit in deze notitie wat uitvoeriger beschouwd hoe met hout de hydraulische belasting op de oever valt te verminderen.

Een significant deel van de hydraulische belasting wordt veroorzaakt door de waterbeweging die door passerende schepen wordt opgewekt. Dat betreft het leegzuigen van de bres onder invloed van de spiegelvaling rondom een passerend schip en vervolgens het opnieuw vullen dat gepaard gaat met een invallende hekgolf. Het breken van deze invallende hekgolf op de steile oever leidt tot het losraken van materiaal, dat vervolgens door stromingen verder wordt verplaatst. Het verminderen van de hydraulische belasting betekent dan iets concreter i) het verminderen van de golfaanval op de kwetsbare oever en ii) het verminderen van stroming langs de kwetsbare oever. Door de aanwezigheid van getij grijpt deze hydraulische belasting op verschillende hoogten op de oever aan.

Deze dynamiek betreft waterstandsveranderingen met een grotere golflengte dan windgolven en zijn daardoor lastiger te onderdrukken. Er lijken twee principe oplossingen mogelijk;

- een vaste vooroever dwars op de stroming van/naar de bres om de dynamiek van waterstanden en stroming in de bres te dempen
- een drijvende structuur bij het wateroppervlak die de energie van de invallende hekgolf opvangt.

In de volgende secties worden de voor KRW interessante opties enigszins uitgewerkt.

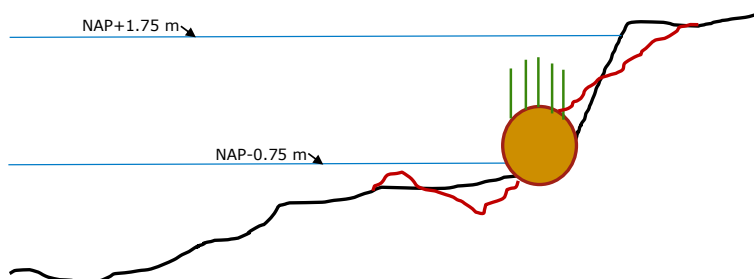
6) Stabilisatie van het talud door plaatsing van hout

Een combinatie van geotechnische stabilisatie en vermindering van hydraulische belasting kan worden bereikt met plaatsing van bijvoorbeeld gerooide wilgen aan de voet van de steilrand² met voor een grotere effectiviteit de vaste takken er nog aan (Fig.8). Deze wilgen kunnen opnieuw uitlopen en bestendigen en ook op langere termijn een stabiele voet voor de hoge oever vormen. Uitgroei mag niet leiden tot opstuwning van hoogwaterstanden, snoeien kan na verloop van enkele jaren dus nodig zijn. Een ander risico van geplaatste is dat houtdelen kunnen losraken en afdrijven in de vaarweg, daarom moeten de kwetsbare delen voor plaatsing worden verwijderd. De wilgen zelf moeten bovendien verankerd worden om wegdrijven te voorkomen.

Rondom de horizontaal liggende wilgen is enige morfodynamiek te verwachten. Het hogere deel van de steilrand zal nog enigszins verder eroderen, maar het evenwichtsprofiel daarvan is sneller ontwikkeld dan zonder het hout aan de voet (zie de rode lijn in Fig.8). Op zo'n stabielere talud is verdere begroeiing mogelijk.

² Wilgen groeien rondom de gemiddelde waterlijn of hoger gelegen gronden; elzen kunnen in het grondwater groeien (CUR 2005, Water- en oeverplanten, 2000).

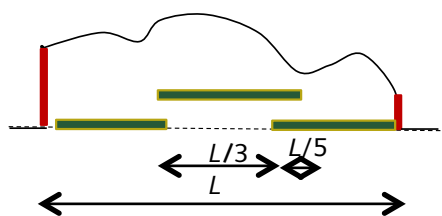
Aan rivierzijde kan door golfslag de wilg wat worden ondermijnd. Omdat op voorhand niet duidelijk is hoe de lokale bodem en de wilgen zich ontwikkelen, kan het mogelijk zijn om na enkele seizoenen een wilg bij te plaatsen of potentieel drijfvuil te verwijderen.



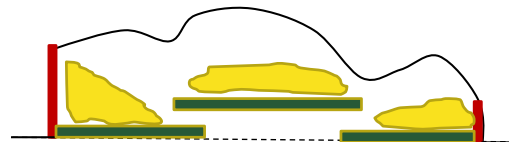
Figuur 8 Plaatsing van gerooide wilgen aan de voet van de steilrand als combinatie van talud stabilisatie (a) en vermindering van de hydraulische belasting (b). De rode lijn laat potentiële rest-erosie zien.

7) Verminderen hydraulische belasting met vooroevers

Vermindering van de hydraulische belasting met behulp van een vooroever dwars op de stroming van/naar de bres kan door plaatsing van elementen in een plattegrond zoals is geschetst in de linkerfiguur van Fig.9, met vooroevers op de oorspronkelijke oeverlijn en een opening in het midden van circa 30% van de totale te sluiten lengte. Ter hoogte van de opening ligt parallel op enige afstand een tweede dam van vergelijkbare kruinhoogte. De opening die hierdoor ontstaat is bedoeld om uitwisseling tussen oeverzone en hoofdgeul mogelijk te maken. Voor een goede beschermende werking¹ moet de hoogte van deze onderwaterdam min of meer overeenkomen met de oorspronkelijke hoogte van de verwijderde oeverbescherming.



Vooroever van verankerde bomen met uitwisseling tussen kribvak en hoofdgeul.



Combinatie vooroevers met vegetatieontwikkeling in stroomluwten.

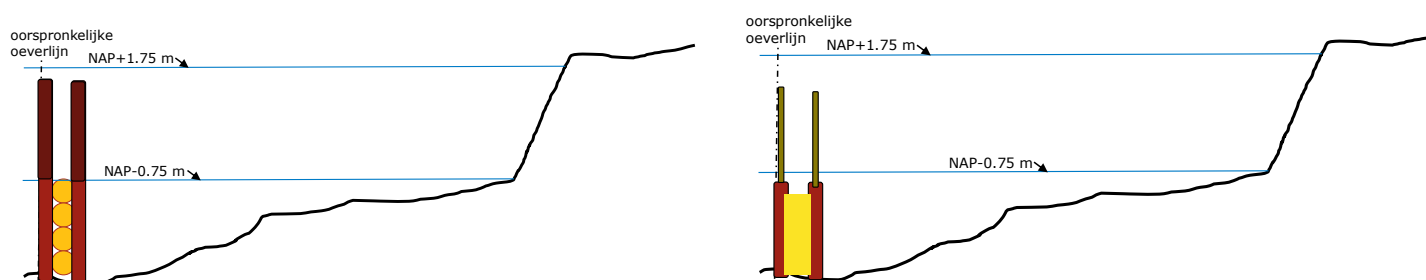
Figuur 9 Verminderen hydraulische belasting op de eroderende oever door vooroevers.

Dit is de traditionele oplossing voor vooroeververdediging, maar in dit geval zou de vooroever met hout kunnen worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld door plaatsing van een aantal staanders op voldoende korte afstand met tussen deze staanders verankerde, liggende stammen of bundels van dikkere takken. In deze houten vooroever is vanwege de grillige houtvorm sprake van holle ruimten die voor een goede beschermende werking maximaal 20 % van het vooroever-volume mag zijn³.

³ Schiereck, 2000; Introduction to bed, bank and shore protection.

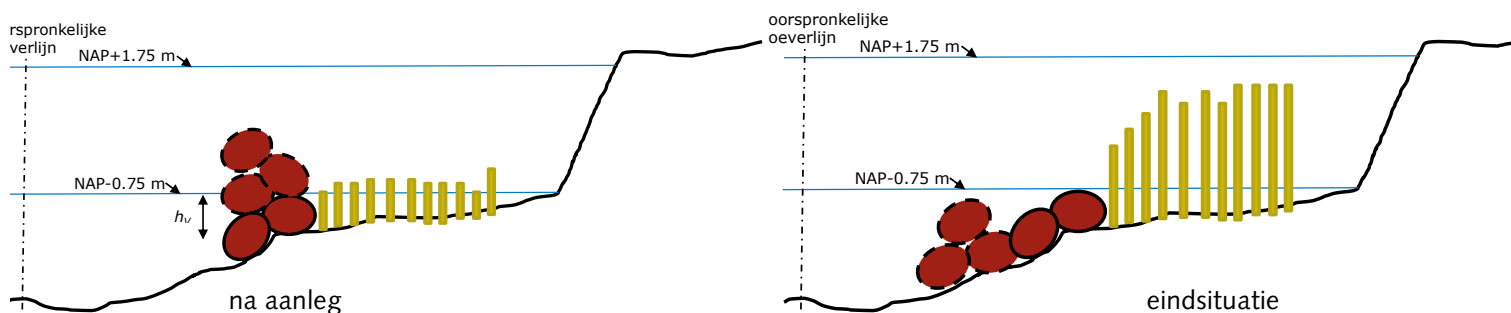
De vooroever-oplossing van Fig.9 leidt vanwege de grote waterstandsvariatie tot een redelijk hoog en gesloten houten scherm om de gewenste golfdemping te kunnen realiseren. Een groot deel daarvan valt dus regelmatig droog en dat komt de duurzaamheid ervan niet ten goede. Gebruik van onbehandeld hout boven de gemiddelde waterlijn lijkt voor dit deel dan ook minder geschikt. Dat betekent dat voor het regelmatig droogvallend deel van de dam (grofweg boven NAP-0.75 m) bijvoorbeeld gebruik gemaakt zou moeten worden van

- i) verduurzaamd dood hout (linkerfiguur Fig.10)
- ii) staken met levend hout verankert in een zandzak-vulling in het permanent natte deel van de houten vooroever (kistdam-constructie in rechterfiguur Fig.10)



Figuur 10 Schets van oeverprofiel met onderwaterdam-varianten (niet op schaal) met verduurzaamd hout (linkerschets) en levend hout (rechterschets) in het droogvallend deel.

Omdat verbetering van stroomgeleiding in de hoofdgeul niet aan de orde is kan een vooroever ook dichtter bij de oever worden geplaatst om materiaal te sparen. Een vooroever op bijvoorbeeld op de NAP-0.5 m contourlijn bakent een zone af die ondiep genoeg is voor de ontwikkeling van rietvegetatie. Als achter deze vooroever dan vegetatie wordt aangeplant in een bijvoorbeeld zo mogelijk 25 m brede zone tussen oever en vooroever (linkerfiguur Fig.11) kan dit op termijn de golfdempende werking van de vooroever overnemen (rechterfiguur Fig.11). Het droogvallend deel van de onderwaterdam kan t.z.t. eenvoudig naar diepere delen worden geschoven zodra de vegetatie in de 25 m zone voldoende⁴ is ontwikkeld en het droogvallend hout dreigt te desintegreren. Voor dit droogvallende deel zouden bovendien de dikste bomen gebruikt kunnen worden. Deze blijven immers het langst bestand blijven tegen afwisselende onderdompeling en droogval.



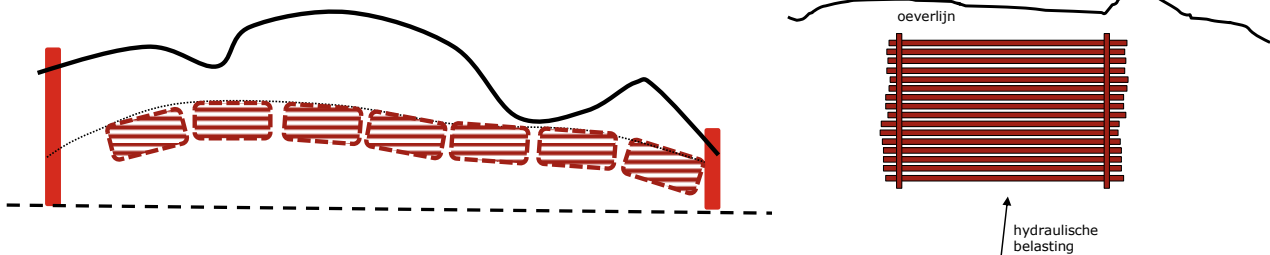
Figuur 11 Schets van oeverprofiel met tijdelijke onderwaterdam (niet op schaal) .

Riet- of biezenvegetatie (al of niet aangeplant) kan de hydraulische belasting op de oever significant verminderen. Dit effect varieert overigens met vegetatie-leeftijd en seizoen (nb veel dynamiek gebeurt gedurende de herfst). De amplitude van de invallende golven moet kleiner zijn dan 0.3 m om afbreken van stengels te voorkomen. Mattenbies groeit in stromend water met een waterdiepte tot 2 m. Riet groeit in zwak stromend water met een waterdiepte tot 1 m (CUR 205 Water- en oeverplanten, 2000). Als rietstengels geheel onder water komen te staan dan sterven ze af. Rietstengels kunnen een lengte van 3 m of meer bereiken. Een waterstand variatie van 2,5 m is fors voor riet en mattenbies. Dat betekent dat het onzeker is of riet en mattenbies tot ontwikkeling kunnen komen achter een vooroeverdam. Wellicht is het planten van volwassen rietplanten meer kansrijk, echter deze volwassen planten zijn kwetsbaar tijdens transport.

⁴ Vegetatie bereikt zijn maximale sterkte tegen hydraulische belasting gemiddeld na 7 tot 10 jaar.

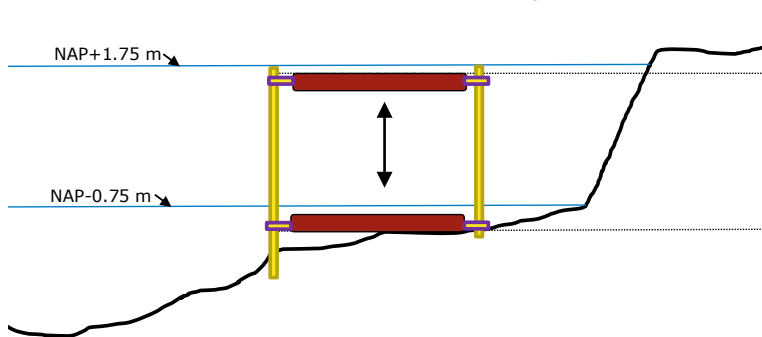
8) Vermindering hydraulische belasting met drijvende bomen

De vaste vooroever uit de vorige sectie moet vanwege het riviergetij relatief hoog zijn om het merendeel van de invallende golven te kunnen dempen. Daarom kan ook worden gedacht aan een drijvende lijn van boomstammen⁵ die verticaal mee beweegt met de waterstand en aan de bodem is verankerd om impuls uit het water op kunnen te nemen. Zo'n drijvende lijn moet zo'n 2 m met het riviergetij mee kunnen stijgen en dalen.

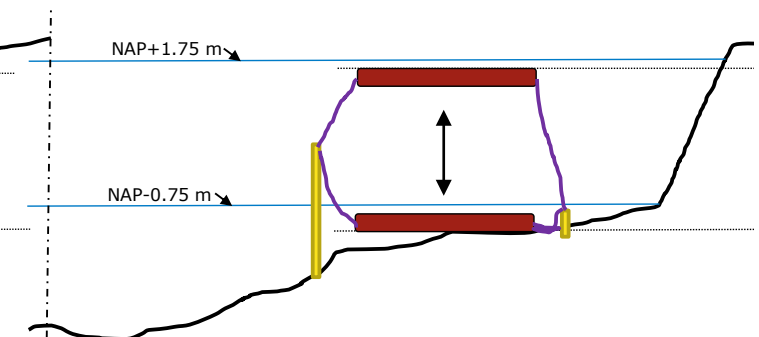


Figuur 12 Demping van oppervlaktestroming en -golven door een drijvend bomenvlot voor de oever.

Een golfdempend vlot kan bestaan uit een groot aantal onderling verbonden bomen die dwars op de richting van de hydraulische belasting worden gelegd en met bomen overdwers stijf met elkaar zijn verbonden (Fig. 12). Zo'n vlot zou op verschillende manieren verankerd kunnen worden (Fig. 13). In de variant van Fig. 13-a is het vlot opgesloten tussen verticale staanders (mogelijk stalen I profielen). In zo'n constructie kan het vlot bij scheefstand tussen de staanders vastgeklemd raken.

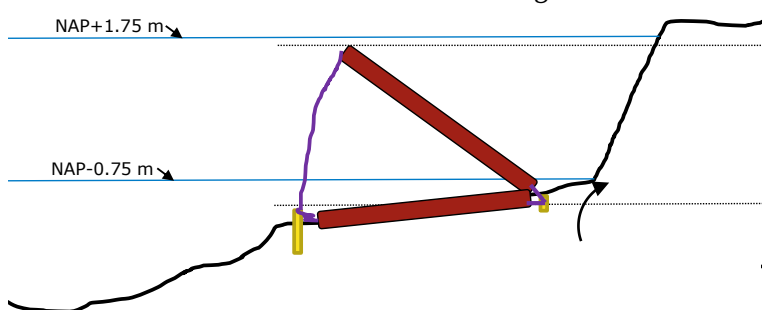


Figuur 13-a Verankering middels opsluiting tussen staanders in twee standen

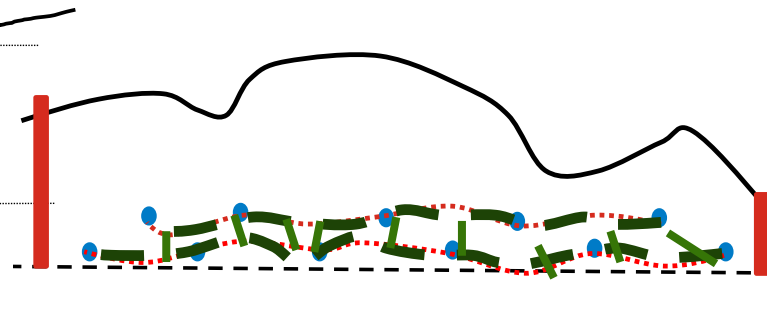


Figuur 13-b Verankering middels kabels of kettingen in twee standen.

In de variant van Fig. 13-b is het vlot met langere kettingen of kabels aan dieper geplaatste staanders verankerd. Dat biedt voldoende verticale bewegingsvrijheid, maar leidt bij gemiddelde waterstanden ook tot een horizontale uitslag. De dempende werking neemt hierdoor vermoedelijk wat af. Een combinatie van beide oplossingen is de variant in Fig. 13-c. Hierin is de verbinding aan oeverzijde zodanig kort dat het bomenveld/vlot meer roteert dan vertikaal verplaatst. Omdat de staanders permanent onderwater liggen, kunnen hiervoor ook boomstammen gebruikt worden.



Figuur 13-c Verankering middels kabels in twee standen.



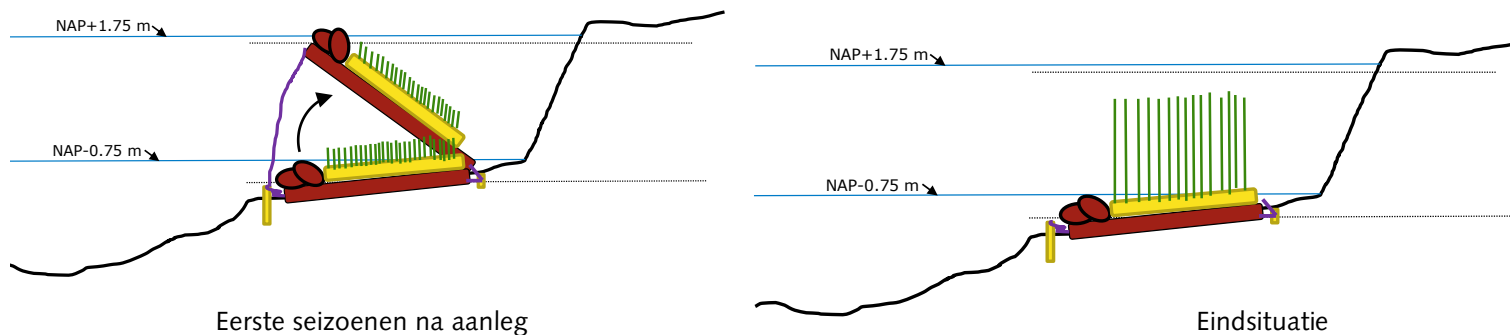
Figuur 13-d Golf- en stroomdemping door boomketting.

⁵ Een alternatief bestaat uit een drijvende mat van rijshout. Van Schaik heeft een drijvende mat ontwikkeld waarop riet kan groeien. Onbekend is welke stromings en golfbelasting dit kan weerstaan. Mogelijk heeft een dergelijke mat in de dynamische rivier-omgeving hiervoor een onderliggend houten bomenstructuur nodig als geschetst in Fig. 8.

Een eenvoudiger alternatief met minder materiaal is het gebruik van een “boomlijn” met twee boomkettingen in de buurt van de oorspronkelijke oeverlijn (Fig.13.d). De bomen zijn per stam bevestigd aan kettingen, tussen beide kettingen zijn een aantal bomen als schakels aangebracht. De kettingen zijn met voldoende lengte bevestigd aan houten standers die diep zijn ingeheid en zich vrijwel permanent onder water bevinden.

Opgemerkt wordt dat bij deze ontwerpen eventuele schade door zware ijsgang geaccepteerd kan worden omdat die belasting weinig voorkomt. De drijvende bomen verliezen in alle varianten van Fig.13 na verloop van tijd drijfvermogen en dan vermindert de beschermende werking voor hogere waterstanden. De afname in drijfvermogen kan worden vertraagd door gebruik te maken van dikke bomen, door extra drijfvermogen toe te voegen met boeien die tevens dienen als markering of, in de boomladder-variant van Fig.13-d, verzadigd hout af te laten zinken en vers hout aan te koppelen.

Er kan op deze tijdelijke werking worden geanticipeerd door het vlot te combineren met een “zinkstuk” met daarop wat zand en vegetatie-aanplant (zie voetnoot 4) die de beschermende werking op termijn overneemt. De rivierstrand en het drijfvermogen van het bomenveld/vlot dient dan zodanig te zijn dat aanvankelijk de vegetatie is gevrijwaard van hydraulische belasting (linkerfiguur van Fig.14). Met een bomenveld/vlot van circa 10 m lang is, is de maximale helling bij 2.5 m waterstandsvariatie circa 1:4. (linkerfiguur Fig.14).



Figuur 14 Combinatie bomenveld/vlot en vegetatie aanplant.

Na verloop van tijd zinkt het bomenveld/vlot door een afnemend drijfvermogen en komt het vanwege wortelende vegetatie niet meer van de grond. Tegen die tijd moet de vegetatie de beschermende werking overnemen (rechterfiguur van Fig.14) en is de eindsituatie vergelijkbaar met de rechterfiguur van Fig.11. De vooroevervariant in Fig.11 lijkt wat eenvoudiger te realiseren met een op termijn een vergelijkbaar resultaat. Dat maakt de optie in Fig.14 minder aantrekkelijk.

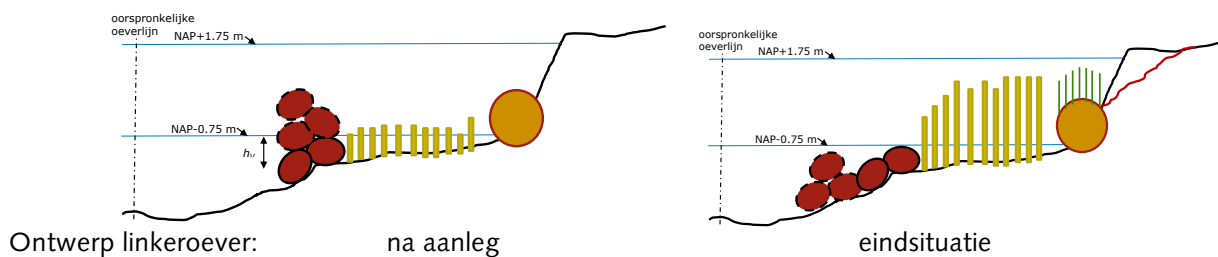
9) Voorkeursvariant

Er lijken met bovenstaande inventarisatie grofweg drie verschillende elementen nodig in de verdediging van een getijdeoever met gebruik van hout. Op volgorde van toenemende complexiteit:

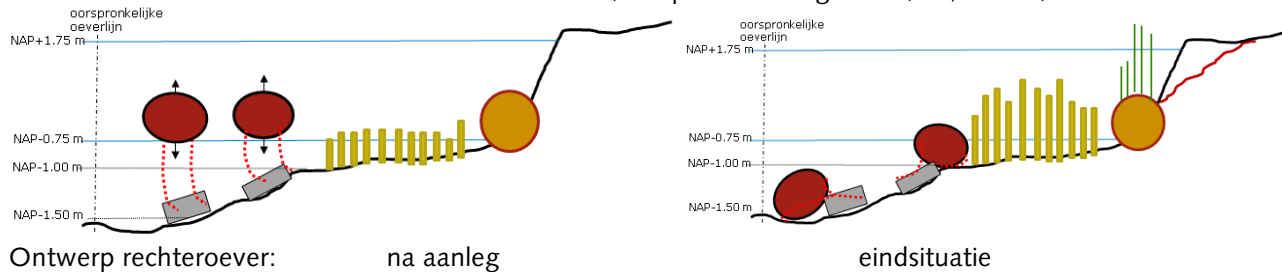
- I) plaatsing van gerooide wilgen met zijtakken aan de voet van de erosie steilrand (Fig.8). Dit is een eenvoudige maatregel. Mogelijk is hiermee niet alle potentiële erosie verdwenen. Omdat dit het drogere deel van de oever betreft blijft de directe waarde voor KRW beperkt.
- II) plaatsing van hout als een 1.5 m hoge onderwaterdam op de NAP-0.5 m contour, of als aanvankelijk drijvende bommenlinie (Fig.14-d).
- III) achter de houten vooroever, aanplant van zo mogelijk al ontwikkelde oevervegetatie (Fig.11).

Van al deze opties zijn de effectiviteit voor oeverbescherming en KRW-doelsoorten op voorhand niet goed te voorspellen. Ook is onbekend wel onderhoud/aanvullende aanleg er na enkele seizoenen nodig is. In dat opzicht zou een pilot van elke optie de moeite waard zijn.

De combinatie van I en II lijkt een minimale inspanning voor de linkeroever met wat lagere steilrand (Fig.15). Voor de rechteroever met hogere steilrand kan deze combinatie worden aangevuld met III) (Fig.16).



Figuur 15 Ontwerp linkeroever: i) gerooide wilgen aan de voet van de steilrand, ii) hout als onderwaterdam en iii) aanplant van vegetatie (riet, biezen).



Figuur 16 Ontwerp rechteroever: i) gerooide wilgen aan de voet van de steilrand, ii) hout als aanvankelijk drijvende lijn, iii) aanplant van vegetatie (riet, biezen).

10) Nader ontwerp linkeroever (lage steilrand) km 865.8

Het principe ontwerp voor deze oever omvat drie onderdelen:

- I) plaatsing van gerooide wilgen met zijtakken aan de voet van de steilrand. Dit is een eenvoudige maatregel om de vervolgerosie te beperken. Omdat dit het drogere deel van de oever betreft lijkt de effectiviteit voor KRW wat beperkter, maar het voegt toe aan de oeverbescherming bij onvoldoende werking van de andere onderdelen.
- II) plaatsing van een bomenscherm op de NAP-0.5 m bodemcontour, min of meer over de gehele lengte van het kribvak.
- III) Achter de bomenlinie kan een rietzone worden aangeplant die in de luwte daarvan kan ontwikkelen. Zodra de bomenlinie het drijfvermogen heeft verloren en voor hogere waterstanden niet meer effectief beschermt, kan het gegroeide riet deze functie overnemen.

Onderdeel I) verstevigen van de steilrandvoet kan door plaatsing van wilgen

Met 36 wilgen van gemiddeld 6 m lengte en 1 m diameter kan de steilrandvoet over 216 m belegd worden.

Deze wilgen moeten worden verankerd. Met een boomvolume van $V_{boom} = \frac{\pi}{4} D_{boom}^2 L_{boom} = 5 \text{ m}^3$ is de

$$\text{oprijvende kracht } F_{opdr-hout} = (\rho_{water} - \rho_{hout}) g V_{boom} = (1000 - 530) 9.81 \cdot 5 = 23 \text{ kN} \quad (1)$$

Deze verticale kracht kan bijvoorbeeld worden opgenomen door het inheien/trillen van palen via voorgeboorde gaten in de wilg, of door het inheien/trillen van palen naast de wilg en het aanbrengen van een metalen verbinding. De palen kunnen alleen werken als anker als de palen voldoende kleef of wrijving ondervindt in de ondergrond. De grootte-orde daarvan wordt als volgt geschat. Als de conusweerstand in zand varieert van circa 5 tot 10 MPa en in klei van circa 1 tot 4 MPa, dan is de maximale wrijving rondom de paal in de orde van 1/150^{ste} van de conusweerstand⁶. Met een veiligheidsfactor van 3 is de schuifspanning in zand dan waarschijnlijk in de orde van 0.01 a 0.02 MPa en in klei 0.001 a 0.01 MPa. Na plaatsing ontspant de grond, en als gevolg van de wisselende horizontale belastingen (turbulente stroming en golven) neemt deze schuifspanning af tot (veiligheidshalve) 5% van de aanvankelijke waarde. Het criterium voor maximale schuifspanning tussen paal en grond is daarmee maatgevend boven het zogenaamde kluitcriterium (maximale omvang van door de kleef gemobiliseerde grond).

Bij het gebruik van palen wordt is op basis van wandwrijving langs een ronde paal (0.25 m diameter en over 4 m ingeheid in de onderwateroever) de geschatte maximale verticale trekkracht per paal

$$F_w = 0.05 \cdot \pi D_{paal} L_{inheidiepte} \tau_w = 0.05 \cdot \pi \cdot 0.25 \cdot 4 \cdot (0.01 - 0.02) \times 10^3 = 1.6 - 3.2 \text{ kN} \quad (2)$$

Met Verg.2 wordt het gemiddelde van 2.3 kN als richtinggevend aangenomen. Dat is vanwege de onzekerheden over de ondergrond een lage waarde, met als gevolg dat, nog zonder veiligheidsfactor voor de grootte van de belasting (oprijvende kracht), bij elke 0.6 m van de wilg een paal moeten worden gezet. Dat is arbeidsintensief en duur.

Een aantrekkelijker optie is plaatsing van schuin in de oever getrilde ankers (twee per boom, dus circa 72 voor de gehele oever). Ook kan worden overwogen om dit onderdeel vooralsnog achterwege te laten en de effectiviteit van de overige onderdelen af te wachten.

Onderdeel II bomenscherm op NAP-0.5 m

Het bomenscherm bestaat uit een aaneengesloten rij van horizontaal geplaatste wilgen (1 m diameter, 6 m lengte) op de NAP-0.5 m bodemcontour. De liggende wilgen worden horizontaal opgesloten met standers die om de 3 m aan weerszijden van de wilgen, minstens 7 m in de kribvakbodem zijn geheid/getrild. Deze wilgen zijn horizontaal verankerd tussen standers en vertikaal met ballast of grondankers.

De oprijvende kracht op de wilgen (5 m³ ondergedompeld hout) is 23 kN. Dit vergt een ballast-betonvolume

$$\text{van } V_{ballast} = \gamma \frac{(\rho_{water} - \rho_{hout})}{(\rho_{ballast} - \rho_{water})} V_{boom} \quad (3)$$

Met een veiligheidsfactor $\gamma=1.5$ vergt een ondergedompeld houtvolume van 5 m³ een ballast volume van 2.5 m³ beton. Dit kan worden gerealiseerd door op voldoende afstand twee paren van twee onderling verbonden

⁶ Grondmechanica, cursusnota's mei 2013, De Smedt, Vrije Universiteit Brussel.

betonblokken van elk circa 0.65 m^3 over de houtbundel te spannen. Een alternatief hiervoor is gebruik van grondankers, bijvoorbeeld om de 3 m om de 6 m lange bomen goed vast te leggen. De prijs kan van beide opties kan de doorslaggeven.

Onderdeel II plaatsing van riet achter de vooroever

Met een 25 m brede (en circa 200 m lange) zone van volgroeid riet tussen oever en bomenlinie kan ook in de toekomst de golfbelasting op de oever worden gedempt.

11 Nader ontwerp rechteroever km (hoge steilrand) km 967.5

Principe ontwerp

Het principe ontwerp voor deze oever omvat drie onderdelen:

- I) plaatsing van gerooide wilgen met zijtakken aan de voet van de steilrand. Dit is een eenvoudige maatregel om de vervolgerosie te beperken. Omdat dit het drogere deel van de oever betreft lijkt de effectiviteit voor KRW wat beperkter, maar het voegt toe aan de oeverbescherming bij onvoldoende werking van de andere onderdelen.
- II) plaatsing van een drijvende bomenlinie tussen de NAP-1 m en NAP-1.5 m bodemcontour, min of meer op de oorspronkelijke oeverlijn. Zolang er drijfvermogen in zit kan de houtmassa de golfbelasting op de oevers dempen.
- III) Achter de bomenlinie kan een rietzone worden aangeplant die in de luwte daarvan kan ontwikkelen. Zodra de bomenlinie het drijfvermogen heeft verloren en voor hogere waterstanden niet meer effectief beschermt, kan het gegroeide riet deze functie overnemen.

Nader uitwerking bescherming steilrandvoet (onderdeel I)

Met 30 wilgen van gemiddeld 6 m lengte kan de steilrandvoet over 170 m verdedigd worden. Deze wilgen

moeten worden verankerd. Met een boomvolume van $V_{boom} = \frac{\pi}{4} D_{boom}^2 L_{boom} = 5 \text{ m}^3$ kan de oprijvende kracht

worden geschat met $F_{opdr-hout} = (\rho_{water} - \rho_{hout}) g V_{boom} = (1000 - 530) 9.81 \cdot 5 = 23 \text{ kN}$ (1)

Bij het gebruik van palen met een wandwrijving (0.25 m diameter en over 4 m ingetrild in de ondergrond) de geschatte maximale verticale trekkracht per paal

$F_w = 0.05 \cdot \pi D_{paal} L_{inheidiepte} \tau_w = 0.05 \cdot \pi \cdot 0.25 \cdot 4 \cdot (0.01 - 0.1) \times 10^3 = 1.5 - 15 \text{ kN}$ (2)

Met een veiligheidsfactor van 1.5 zou om de 1.2 m een paal moeten worden aangebracht, ofwel via voorgeboorde gaten in de wilg of door een ketting met de wilg verbonden. Een vanwege de kosten aantrekkelijk alternatief is indrukken van twee grondankers per boom die met een metalen verbinding de boom tegen de bodem en de steilwand fixeren.

Bij hoge kosten of onacceptabele opstuwing door uitgroei kan overwogen worden dit onderdeel vooralsnog achterwege te laten, de effectiviteit van de overige onderdelen af te wachten en enige verdere erosie van de steilrand te accepteren.

Nadere uitwerking van de drijvende bomenlinie (onderdeel II)

Veronderstel dat de ongeveer 130 m lange boomladder wordt gemaakt met 2 maal $130/10 = 26$ bomen van gemiddeld 10 m lengte in langsrichting en $130/25 + 1 = 6$ bomen in dwarsrichting. Onder dagelijkse omstandigheden drijft de houtladder en zijn de krachten op de verankering niet maatgevend. Als bij hoogwater de boomladder volledig ondergedompeld is wordt maximaal aan de verankering getrokken. Die situatie is dan ook maatgevend voor het ontwerp. Deze verticale kracht kan worden opgenomen door het plaatsen van i) palen waaraan horizontaal getrokken kan worden en ii) ballast (betonplaten) waar vertikaal aan wordt getrokken (zie Figuur 17 en verder). Een alternatief is iii) grondankers die de verticale en horizontale krachtscomponenten beide opnemen.

Bomen van 10 m en 1 m stamdiameter hebben een houtvolume van circa $V_{boom} = \frac{\pi}{4} D_{boom}^2 L_{boom} = 8 \text{ m}^3$ (3)

Het is mogelijk dat door drijfhout dat in de bomen haakt de oprijvende kracht wat groter wordt. Hier wordt 10 m^3 als bovengrens aangenomen voor het ondergedompelde boomvolume. Met een wat lager soortelijk houtgewicht van bijvoorbeeld $\rho_{hout} = 530 \text{ kg/m}^3$ (els) is de oprijvende kracht per boom

$F_{opdr-hout} = (1000 - 530) \cdot 9.81 \cdot 10 = 46 \text{ kN}$ (4)

Dit vergt een ballastvolume $V_{ballast} = \gamma_{opdrijven} \frac{F_{opdr-hout}}{(\rho_{beton} - \rho_{water})g} = 1.5 \frac{46 \cdot 10^3}{(2400 - 1000) \cdot 9.81} = 5 \text{ m}^3$ (9-b)

Dat komt bijvoorbeeld overeen met twee betonplaten van elk $2.5 \times 2.5 \times 0.4$ m (2.5 m^3 , drooggewicht 6000 kg).

De horizontale stroomkracht per boom wordt geschat op $F_{stroming} \approx \rho_{water} D_{boom} L_{boom} \frac{C_D}{2} u^2 = 20 \text{ kN}$. Deze

horizontale kracht moet worden opgenomen door bij elke betonplaat een paal over minstens 8 m in te heien en de betonplaat hieraan te verankeren. Met twee palen per boom en een veiligheidsfactor van 1.5 is per paal de benodigde maximale horizontale trekkracht 15 kN.

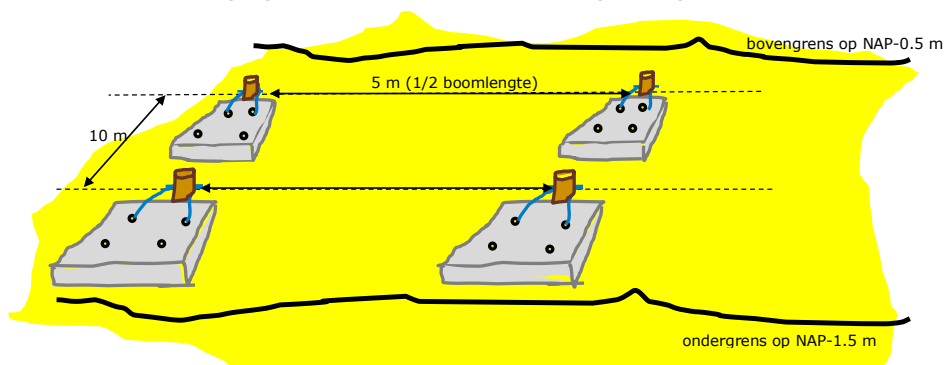
Een alternatief hiervoor is het gebruik van ankers. De gecombineerde kracht op een boom is

$F_{tot} = \sqrt{46^2 + 20^2} = 50 \text{ kN}$. Met een veiligheidsmarge van 1.5 ligt de benodigde totale ankerkracht van een 10 m lange boom tussen 50 en 150 kN. De onderwateroever bestaat voor een bovenste circa 2 m uit losgepakt zand dat is gesedimenteerd vanuit de oever. Als een boom op twee posities wordt verankerd dan is de benodigde ankerkracht circa 75 kN. Bij het bepalen van de ankerdiepte moet rekening gehouden worden met circa 1 a 1.5 m erosie onder en rondom de bomen en de circa 2 m dikke, losgepakte sedimentatielaag op de onderwateroever. Dus, het anker dient ruim meer dan 4 m diep te worden ingebracht.

De relatief grote investering in de verankering maakt duidelijk dat er aanleiding is om trekkracht van palen in rivieroeveren en kribvakken betrouwbaarder te bepalen. Immers, als deze trekkracht kan worden verhoogd dan kunnen ontwerpen aanzienlijk goedkoper.

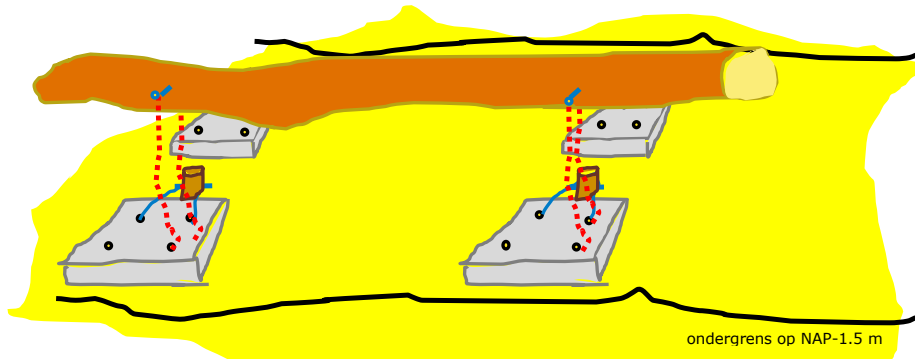
Als bomen aan elkaar haken neemt het aangestroomd oppervlak toe en daarmee de horizontale belasting op een paal. De onderlinge afstand tussen de rijen zou dus groot genoeg moeten zijn om het onderling haken van bomen te voorkomen.

Veronderstel dat de ongeveer 130 m lange boomladder wordt gemaakt met 2 maal $120/10 = 24$ bomen (10 m lengte) in langsricting. Elke boom heeft twee betonnen platen als ballast en is aan elke plaat met twee kettingen verbonden. Elke betonplaat is vervolgens met een ketting verbonden aan een minstens 8 m ingehaide paal. Het is handig om elke betonplaat van vier hijsogen te voorzien zodat de orientatie van de plaat geen rol speelt voor de bevestiging van de verschillende kettingen (Fig.17).



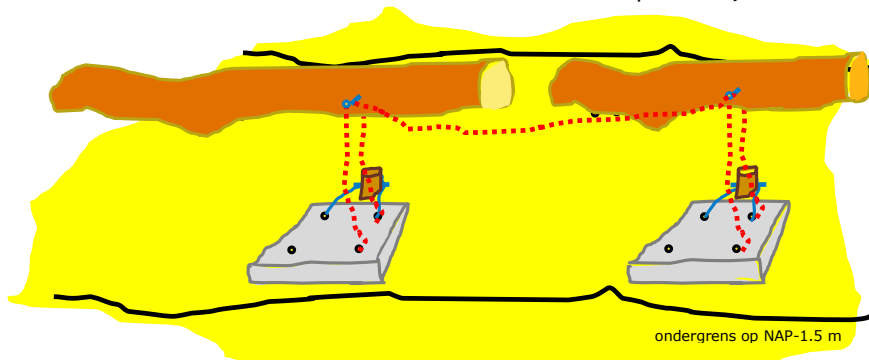
Figuur 17 Schets van palen en betonplaten (kijkrichting op de onderwateroever).

Een boom is met kettingen aan twee bodemplaten verbonden, met aan elke betonplaat twee kettingen. De betonplaten liggen op een onderlinge afstand van 10 m. De kettingen zouden dan maximaal 2.5 m mogen zijn om de kans op onderling haken zoveel mogelijk te beperken. De betonplaten liggen tussen de NAP-1.0 m en NAP-1.5 m dieptecontouren. Met een kettinglengte van 2.5 m kunnen de bomen tot NAP+1.5 m opdrijven. Dus de verticale kettingen tussen boom en betonplaten met een stalen pin door de stam aan een boom verankerd (Fig.18).



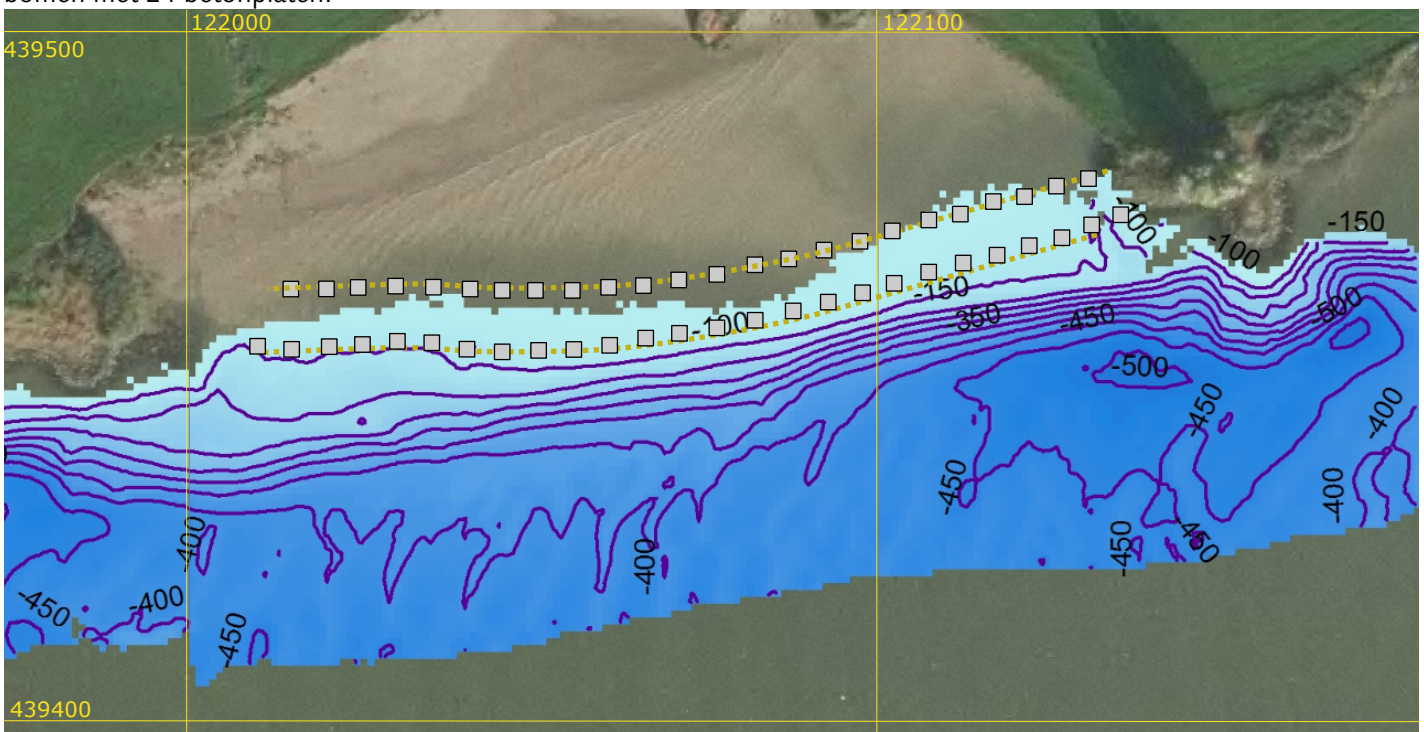
Figuur 18 Schets van verankering boom aan betonplaten (kijkrichting op de onderwateroever).

Om afdrijven van houtstukken te voorkomen en om de boomladder als oeverbescherming effectief te maken zijn de bomen met horizontale ketting ook onderling verbonden (Fig.19). Zo mogelijk door gebruik te maken met dezelfde pinnen in de stam als waarmee de stammen aan de betonplaten zijn verbonden.

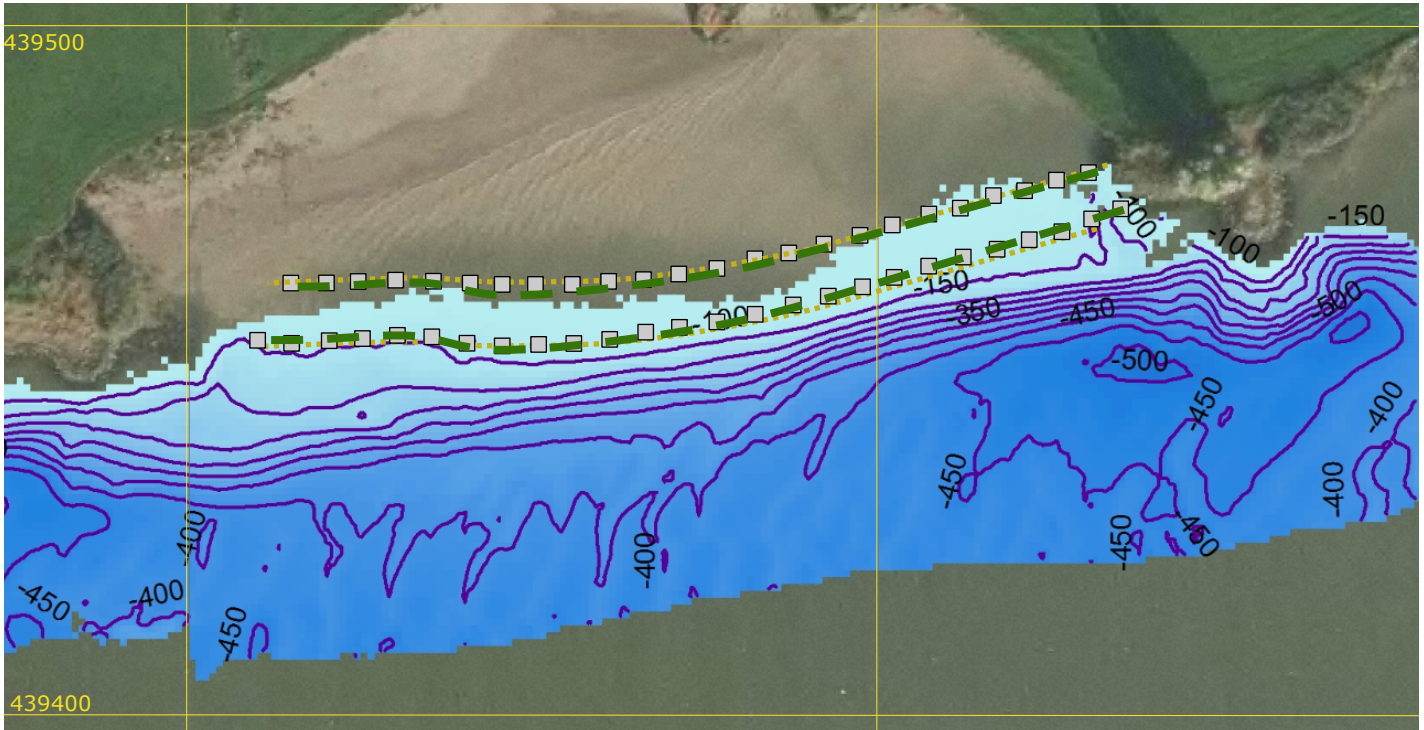


Figuur 19 Schets van onderlinge verbinding tussen bomen richting op de onderwateroever).

De locatie van de betonplaten (en elke plaat aan oeverzijde verbonden met een minstens 8 m diep ingetrilde/heide paal) is geschetst in Fig.20. Tussen NAP-1.0 m en NAP-1.5 m is ruimte voor twee rijen op 10 m afstand van elkaar. In de rij aan rivierzijde passen 13 bomen en 26 betonplaten en in de rij daarnaast 12 bomen met 24 betonplaten.



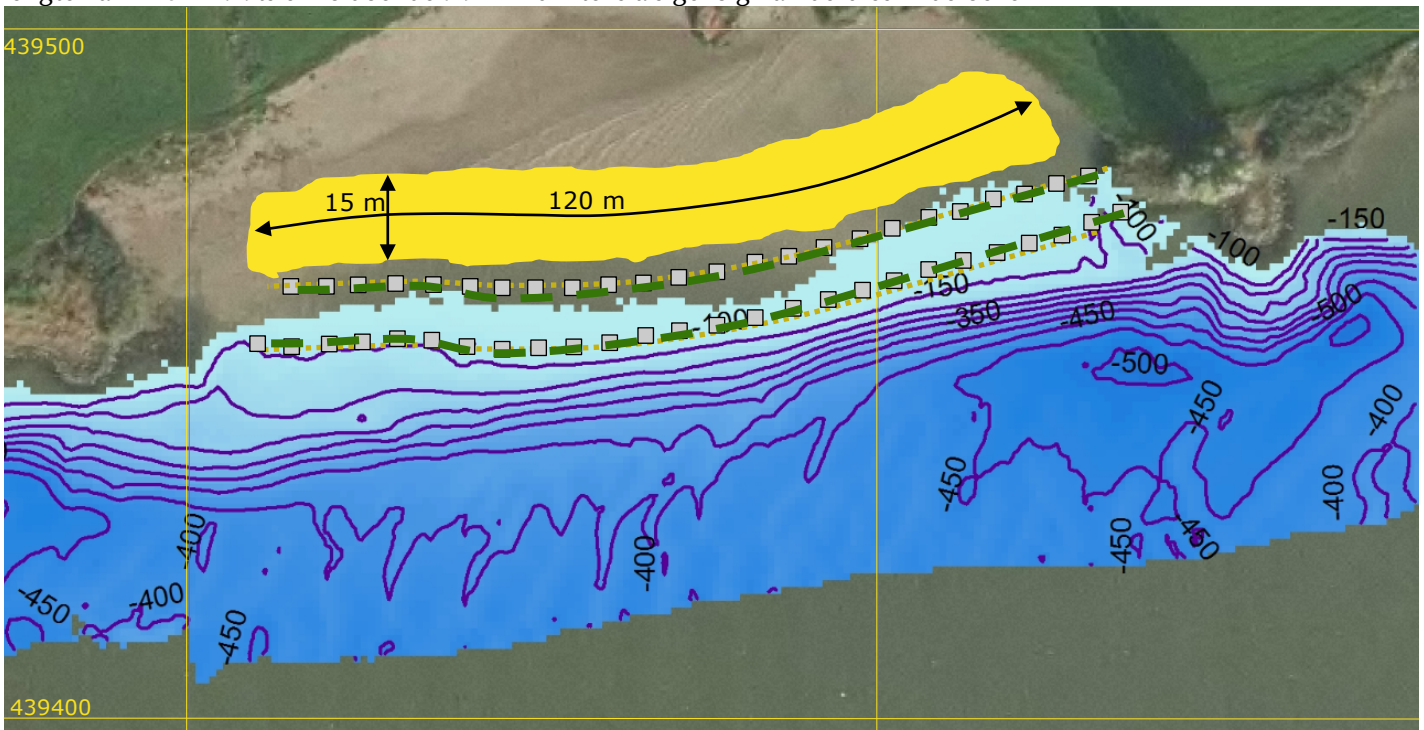
Figuur 20 Ligging betonplaten in twee rijen (26 in de rij aan rivierzijde, 24 in de rij aan oeverzijde).



Figuur 21 Positie bomen in twee rijen (13 in de rij aan rivierzijde, 12 in de rij aan oeverzijde).

Nader ontwerp rietzone onderdeel III (bij voldoende MHW-ruimte).

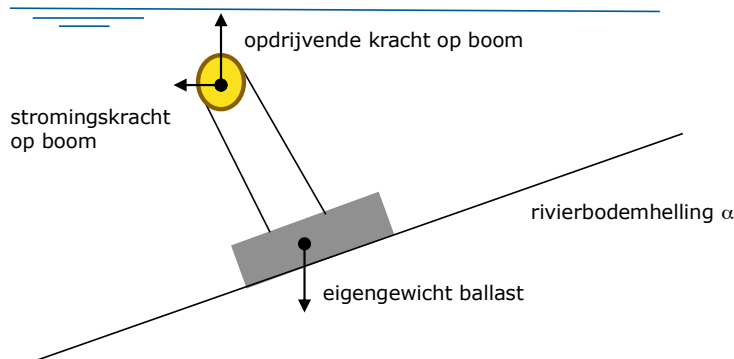
Tussen steilrand en bomenlijn kan een rietzone worden aangelegd die op termijn de golfdempende werking van de bomenlijn bij hogere waterstanden moet overnemen. Deze rietzone (Fig.22) is 15 m breed over een lengte van 120 m. Mits er voldoende MHW-ruimte is als gevolg van de bres in de oever.



Figuur 22 Positie van 15 m brede en 120 m lange rietzone aansluitend aan de bomenrij.

Bijlage A Verankering van de drijvende bomen

De krachten op de drijvende boom en de verankering zijn geschetst in Fig.1.



Figuur 16 Schets van krachten op de boomladder.

De kracht van het ballastblok loodrecht op bodem is hier gedefinieerd als

$$F_n = (F_{ballast} - F_{opdr-hout}) \cos \alpha - F_{stro\ min\ g} \sin \alpha \quad (6-a)$$

De kracht van het ballastblok parallel aan de bodem is hier gedefinieerd als

$$F_{||} = (F_{ballast} - F_{opdr-hout}) \sin \alpha + F_{stro\ min\ g} \cos \alpha \quad (6-b)$$

Er is volgens Verg.6-a voldoende weerstand tegen opdrijven als geldt

$$\frac{F_{ballast}}{F_{opdr-hout}} \geq \gamma_{opdr} \left(\frac{F_{stro\ min\ g}}{F_{opdr-hout}} \tan \alpha + 1 \right) \quad \text{met } \gamma_{opdr} > 1 \quad (7-a)$$

Er is met $\gamma_{afsch} F_{||} \leq \mu F_n$ en Verg.6-b voldoende weerstand tegen afschuiven langs de bodempelling als geldt

$$\frac{F_{ballast}}{F_{opdr-hout}} \geq 1 + \left(\frac{\gamma_{afsch} + \mu \tan \alpha}{\mu - \gamma_{afsch} \tan \alpha} \right) \frac{F_{stro\ min\ g}}{F_{opdr-hout}} \quad \text{met } \gamma_{afsch} > 1 \quad (7-b)$$

Met veiligheidsfactor tegen afschuiven $\gamma_{afsch} = 1.5$ en een wrijvingscoëfficiënt $\mu=0.36$ (vlakke plaat op zand)

geldt met Verg.7-b ook dat moet gelden $\tan \alpha < \frac{\mu}{\gamma_{afsch}} = \frac{0.36}{1.5} = 0.24$. Dus alleen zones met bodempelling

flauwer dan 1:4 zijn geschikt voor een stabiele plaatsing van de betonplaten. Volgens de bodempelling geldt dat min of meer voor de bodemligging boven NAP-1.5 m, daar is de bodempelling flauwer dan 1:10. De bodemhoogtecontour van NAP-1.5 m markeert daarmee de ondergrens van het werkgebied.

De relatieve horizontale kracht op een aangestroomde boom is te schatten met

$$\frac{F_{stro\ min\ g}}{F_{opdr-hout}} \approx \frac{\rho_{water}}{\rho_{water} - \rho_{hout}} C_D \frac{2}{\pi} \frac{u^2}{g D_{boom}} \quad (8)$$

Het relatieve ballastvolume is te schatten met $\frac{F_{ballast}}{F_{opdr-hout}} = \left(\frac{\rho_{ballast} - \rho_{water}}{\rho_{water} - \rho_{hout}} \right) \frac{V_{ballast}}{V_{boom}}$

Met een effectieve boomediameter van $D_{boom}=1$ m, een coëfficiënt $C_d=1.0$, een stroomsnelheid $u=2$ m/s een bodempelling van 1:10 en veiligheidsfactoren $\gamma_{opdr} = 1.5$ en $\gamma_{afsch} = 1.5$ volgen grenswaarden van Tabel 1.

| | ondergrens $F_{ballast}/F_{opdr-hout}$ | | ondergrens $V_{ballast}/V_{hout}$ | | | |
|--|--|-----------|-----------------------------------|-----|-----------|-----|
| | $u=1$ m/s | $u=2$ m/s | $u=1$ m/s | | $u=2$ m/s | |
| | | | els | eik | els | eik |
| Veiligheid tegen opdrijven (Verg.7-a) | 1.5 | 1.6 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| Veiligheid tegen afschuiven (Verg.7-b) | 2.8 | 5.0 | 0.7 | 0.5 | 1.7 | 1.5 |

Tabel 1 Grenswaarden voor ballastkracht en volume.

Tabel 1 laat zien dat de benodigde weerstand tegen afschuiven bepalend is voor het bepalen van de benodigde ballast. Dit leidt voor zowel els als eik tot een zeer groot benodigd ballastvolume. Dit alles betekent dat

verankeren door alleen palen of door alleen ballast vanwege de grote verticale en horizontale krachten geen optimaal ontwerp oplevert. Dit leidt tot

- een gecombineerd ontwerp van ballast voor *verticale* verankering van bomen en het *intrillen* van palen voor een horizontale verankering.

- plaatsing van grondankers als efficiënt alternatief voor verticale en horizontale krachten.

(<http://www.infratrading.nl/staal/klapankers/> of <http://www.jldinternational.nl>)

Bij het gebruik van ankers speelt de bodemhelling geen rol. De totale benodigde ankerkracht door stroming en

$$\text{opdriving is per m boomlengte } F_{tot} / L_{boom} \approx \frac{1}{2} g (\rho_{water} - \rho_{hout}) D_{boom}^2 \sqrt{\left(\frac{\rho_{water}}{\rho_{water} - \rho_{hout}} C_d \frac{u^2}{g D_{boom}} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{2} \right)^2} \quad (9)$$

Een voor aanstroming en boomgewicht effectieve boombiameter van $D_{boom} = 1$ m, een coëfficiënt $C_d = 1.0$ en een laag soortelijk houtgewicht van 530 kg/m^3 (els) levert bij een stroomsnelheid van $u = 2$ m/s een totale kracht van 3 kN/m. De effectieve boombiameter heeft een grote invloed op de benodigde verankeringskracht; bij $D_{boom} = 2$ m is de totale kracht 9 kN/m.

Met een veiligheidsmarge van 1.5 voor de krachten op de boom varieert de benodigde ankerkracht van een 10 m lange boom tussen 50 en 150 kN. Als een boom op twee posities wordt verankerd zijn de benodigde afzonderlijke ankerkrachten circa 75 kN. Bij het bepalen van de ankerdiepte moet rekening gehouden worden met circa 1 a 1.5 m erosie onder en rondom de bomen en de circa 2 m dikke, losgepakte sedimentatielaag op de onderwateroever.

Dit maakt overigens ook duidelijk dat er aanleiding is om trekkracht van palen in rivieroeveren en kribvakken te onderzoeken. Immers, als deze trekkracht kan worden verhoogd dan kunnen ontwerpen aanzienlijk goedkoper.

Het is mogelijk dat door drijf hout dat in de bomen haakt de oprijvende kracht wat groter wordt. Hier wordt 10 m^3 als bovengrens aangenomen voor het ondergedompelde boomvolume. Met een houtvolume van circa 10 m^3 is de verticale kracht per boom bij volledige onderdompeling wordt bij een relatief lichte houtsoort geschat op

$$F_{opdr-hout} = (\rho_{water} - \rho_{hout}) g V_{boom} = (1000 - 530) \cdot 9.81 \cdot 10 = 46 \text{ kN} \quad (9-a)$$

$$\text{Dit vergt een ballastvolume } V_{ballast} = \gamma_{opdriven} \frac{F_{opdr-hout}}{(\rho_{beton} - \rho_{water}) g} = 1.5 \frac{46 \cdot 10^3}{(2400 - 1000) \cdot 9.81} = 5 \text{ m}^3 \quad (9-b)$$

Dat komt bijvoorbeeld overeen met twee betonplaten van elk $2.5 \times 2.5 \times 0.4$ m (2.5 m^3 , drooggewicht 6000 kg).

De horizontale stroomkracht per boom wordt geschat op $F_{stroming} \approx \rho_{water} D_{boom} L_{boom} \frac{C_D}{2} u^2 = 20 \text{ kN}$. Deze

horizontale kracht moet worden opgenomen door bij elke betonplaat een paal over minstens 8 m in te heien en de betonplaat hieraan te verankeren. Door drijf vuil kan het aangestroomd oppervlak nog wat toenemen. Met een veiligheidsfactor van 1.5 is per paal de benodigde maximale horizontale trekkracht 15 kN (twee palen per boom).

De gecombineerde kracht op een boom is $F_{tot} = \sqrt{46^2 + 20^2} = 50 \text{ kN}$. Als in plaats van ballast de boom op twee plaatsen met twee ankers verbonden zou worden, dan zou met een belastingfactor van 1.5 de benodigde verankeringskracht circa 40 kN moeten zijn.

Als bomen aan elkaar haken neemt het aangestroomd oppervlak toe en daarmee de horizontale belasting op een paal. De onderlinge afstand tussen de rijen zou dus groot genoeg moeten zijn om het onderling haken van bomen te voorkomen.

Bijlage 7: Ontwerp en aanleg KRW-pilot de Horde

Verkenning mogelijkheden stabiliseren N2000-areaal & verhoging KRW-waarden bij de Horde

Notitie van Annette Piepers (RWS-WNZ), Henk van Rheede (RWS-ON) en Margriet Schoor (RWS-ON) Arjan Sieben (RWS-WVL),

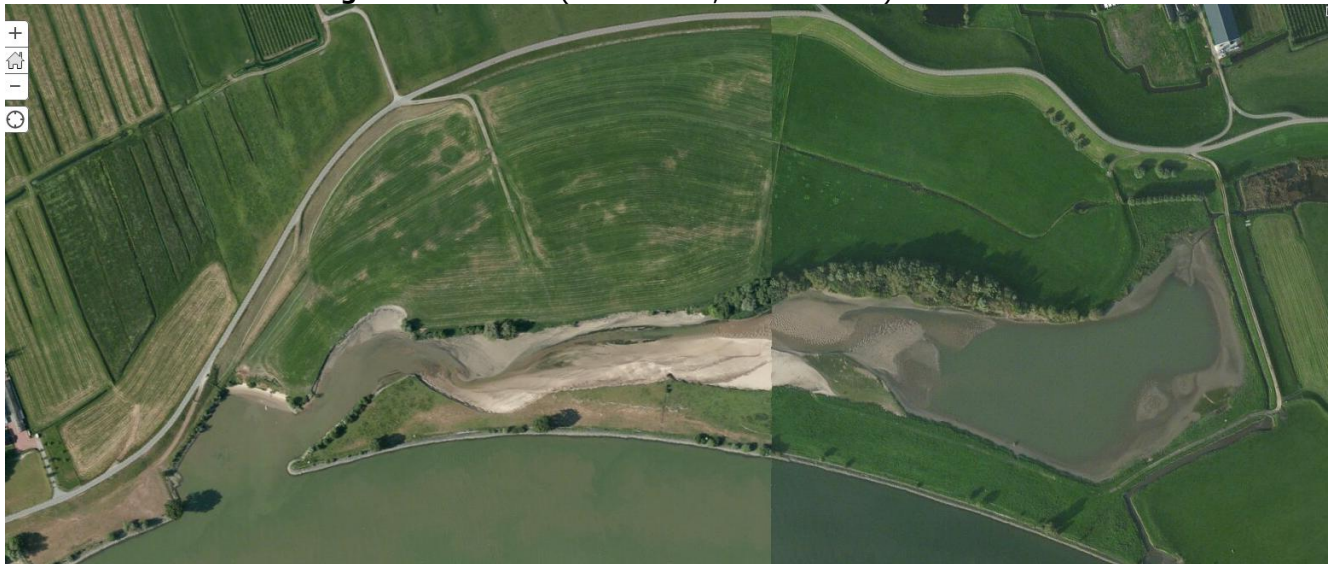
- 1) Aanleiding
- 2) Bodemhoogte
- 3) Waterstanden
- 4) Oevererosie
- 5) Vermindering golfbelasting op oevers
- 6) Vermindering hydraulische belasting tijdens hoogwater
- 7) Conclusies
- 8) Geschatte hoeveelheden

1) Aanleiding

De Horde is een landtong in de Lek die eind jaren 80 is aangelegd en door de provincie Utrecht in eigendom is overgedragen aan Staatsbosbeheer (Fig. 1). De landtong maakt deel uit van het Natura 2000-gebied Uiterwaarden Lek. In het aanwijzingsbesluit voor dit Natura 2000-gebied is voor het habitattype stroomdalgrasland een behouds- en uitbreidingsdoelstelling opgenomen. Deze doelstelling is uitgewerkt in het concept beheerplan *van...* en ook in de gebiedsanalyse, die in het kader van de PAS (Programmatische Aanpak Stikstof) is opgesteld. Vanwege het aanwezige stroomdalgras is de Horde binnen het beheerplan aangemerkt als waardevol.



Figuur 1 De Horde (Lek km 959, rechteroever).



Bij de aanleg werd gedacht dat de Horde erosiebestendig zou zijn, maar al vrij snel bleek de noordelijke oever te eroderen. De afslag gaat behoorlijk snel, waardoor de kans bestaat dat binnen niet al te lange tijd de landtong doorbreekt en er een eiland ontstaat dat niet meer als stroomdalgrasland te beheren zal zijn. In zowel het N2000-beheerplan als in de PAS-gebiedsanalyse is opgenomen dat de erosie bestreden dient te worden. Het laten wegspoelen van stroomdalgrasland op de Horde en elders opnieuw creëren is gezien de behoudsdoelstelling geen optie. In het kader van de PAS wordt geëist dat de maatregelen in de gebiedsanalyse worden geborgd in concrete afspraken. Dit is noodzakelijk voor de vaststelling van de PAS, ook door I&M. De oeverafslag vormt vooralsnog geen bedreiging voor kering en rivierwerken (oeverbelijning en vaargeul), maar dit kan op termijn wel het geval zijn (bij eilandvorming).

De vraag is *hoe oevers van het N2000 gebied gestabiliseerd kunnen worden, zodanig dat KRW waarden worden verhoogd*. Intern RWS is daarbij aansluiting gezocht met maatregelen voor de Kaderrichtlijn Water. Immers, RWS dient ten behoeve van de KRW de biologische kwaliteit van dit riviertraject te verbeteren. De strang bij De Horde kan daarin een goede rol spelen. Daarom worden in deze notitie de mogelijkheden verkent om afslag van N2000 gebied te voorkomen en tegelijkertijd KRW-waarden te verhogen. In deze notitie worden een aantal opties verkend.

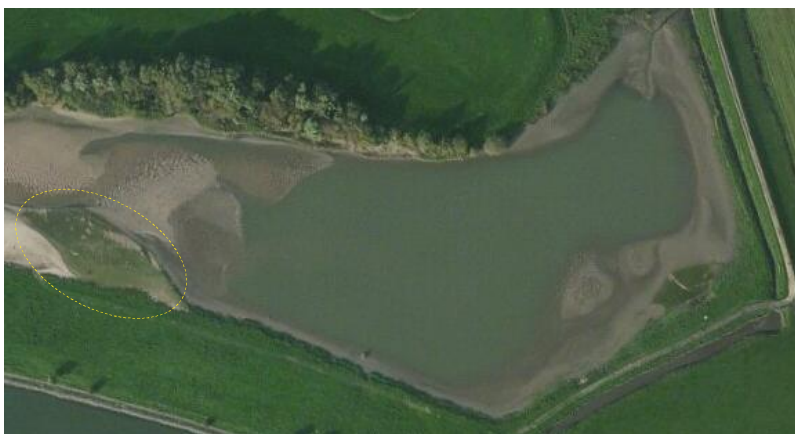
2) Bodemhoogte

Een kwalitatieve indruk van de bodemhoogte rondom de strang is gegeven met Fig.2. De hoogte van de landtong links van de strang ligt grotendeels rondom NAP+3.0 m. De landtong is het laagst (NAP+1.8 m) bij bovenstroomse aansluiting (zie onderbroken rode contour). De kruin van de zomerkade rechts van de strang ligt op NAP+280 tot 300 m. De hoogte van de uiterwaard achter de zomerkade ligt op circa NAP+160 cm. De strang ligt dus omsloten door twee relatief hoge oevers.



Figuur 2 Indicatie van bodemhoogte rondom de strang.

De strang is stroomvoerend voor lokale waterstanden hoger dan NAP+1.8 m. Dat zijn de lagere hoogwaters (Fig.4). Vanwege de hoge zomerkade rechts van de strang, blijft deze stroming bovendien lang in de strang geconcentreerd. Pas bij de wat extremere hoogwaterstanden (lokaal boven NAP+3.0 m, Fig.4) wordt ook de rest van de uiterwaard stroomvoerend. Omdat de rechteruiterwaard wordt afgesneden door een schaarlijk, blijft de strang echter ook dan een belangrijk deel van de hoogwaterstroombanen afvoeren. Dus, de strang vervult een belangrijke rol bij het afvoeren van grote rivierafvoeren. Ten aanzien van de bodem in de strang is met Figuur 3 een eerste interpretatie gegeven.



Opname 2011 van het oostelijk deel van de strang. Breder en mogelijk ook wat dieper en slibber dan het smalle middenstuk. Tot aan de waterlijn begroeide, stabiele oevers en begroeiing op lagere delen (gele contour).



Opname 2011 van het smallere, ondiepe middendeel van de strang. Hoogwatersedimentatie (vermoedelijk uit de hoofdgeul) op de begroeide hoge landstrook links van de strang (paarse onderbroken lijn). Hoge steilranden langs een lager onbegroeid flauw zand talud. Vegetatie (drooggevallen waterplanten?) langs de waterlijn (groene stippellijn). Twee tegengestelde haken (blauwe pijlen) duiden op zand-transporterende stroming met wisselende richting (in- en uit de strang). Veeglijnen op het flauwe strand als indicatie van dissiperende golf-energie op de (terugtrekkende) waterlijn (rode onderbroken lijn).



Opname 2011 van de benedenstroomse aansluiting. Terugkerend, slibrijk water vanuit de strang wisselt in een menglaag uit met het minder slibrijke rivierwater (groene stippellijn). Donkere delen ter hoogte van stabielere oevers (bruine getrokken lijnen) kan duiden op aanwezigheid van lokale, minder erodeerbare kleiachtige ondergrond.

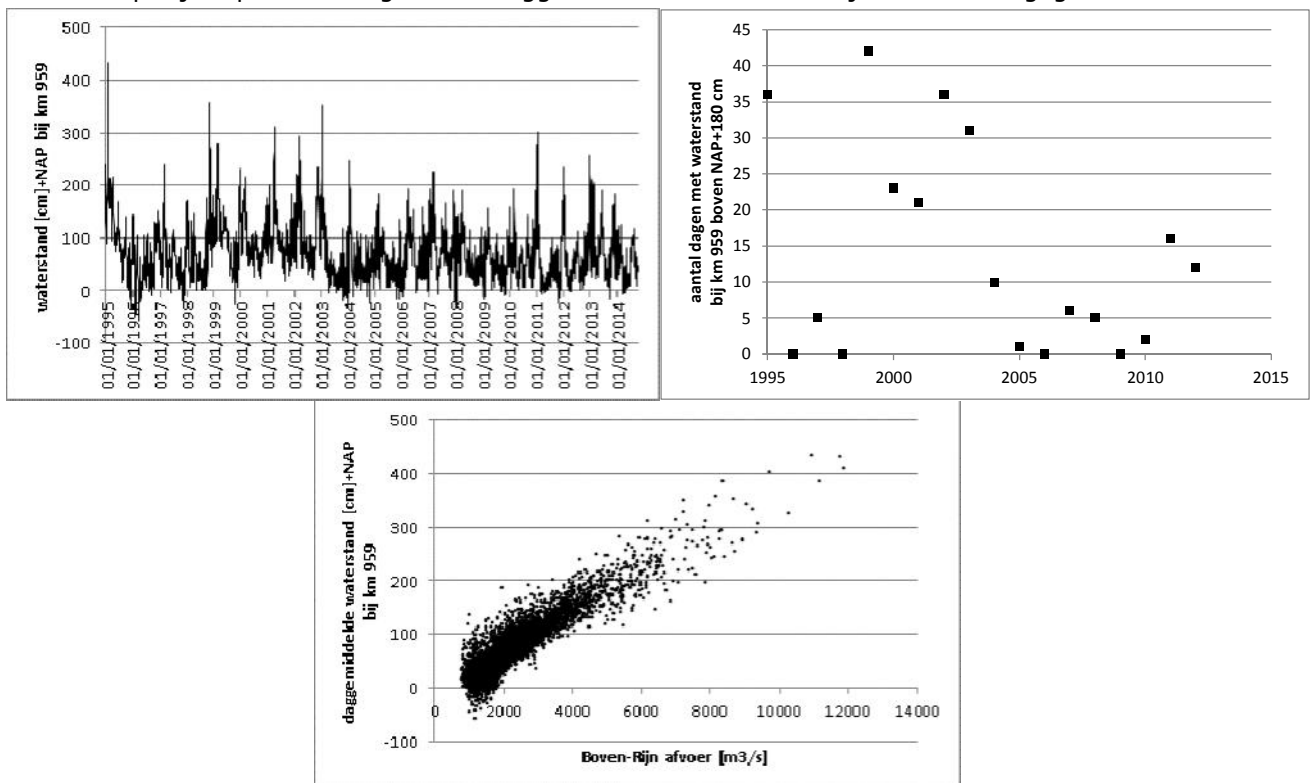
Figuur 3 Interpretatie situatie 2011.

3) Waterstanden

Er zijn grofweg drie typen waterstandsdynamiek die relevant kunnen zijn voor de bodem en oevers van de strang;

- i) de jaarlijkse, seizoensvariëaties afhankelijk van het rivierafvoerloop
- ii) de dagelijkse variatie onder invloed van riviergetij
- iii) de snelle fluctuaties tijdens passerende scheepvaart

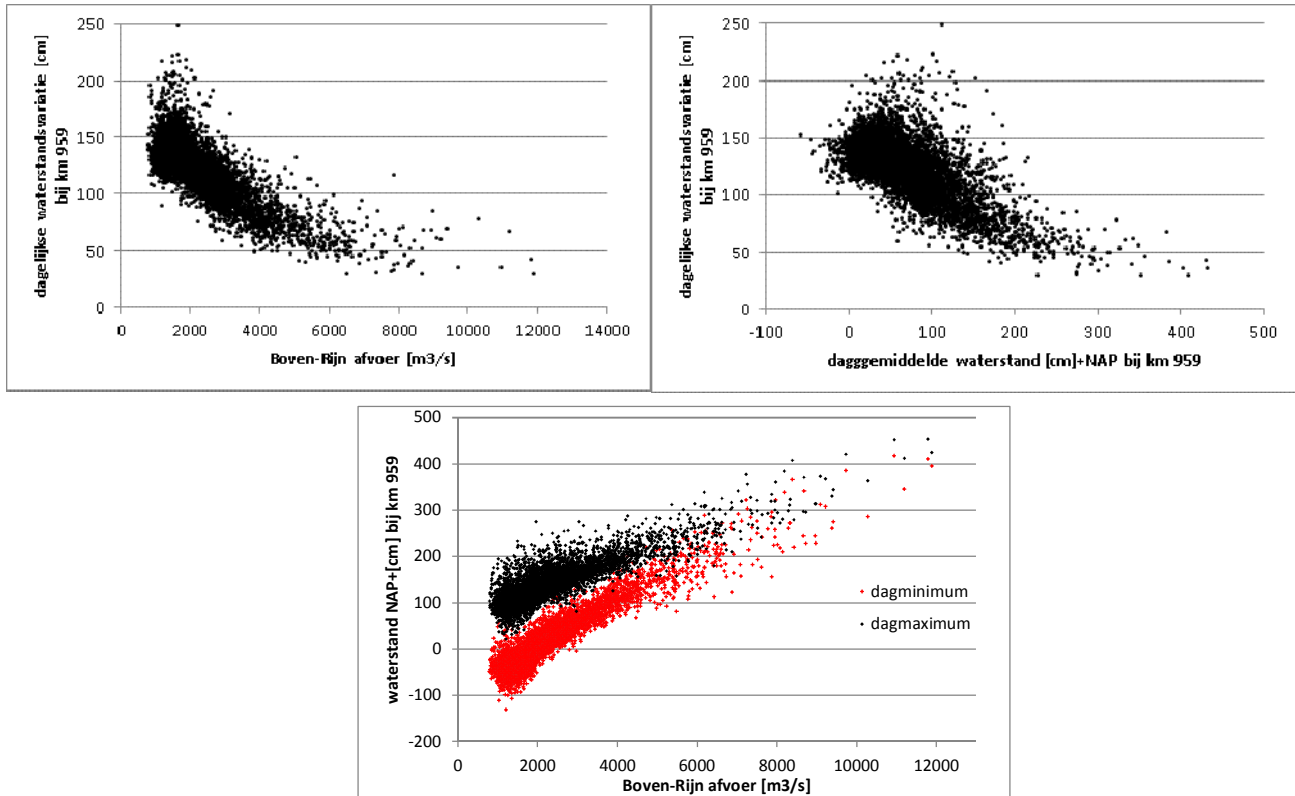
Om een indruk te krijgen van i) en ii) zijn de waarnemingen bij de stations Hagestein-Beneden (km 947.110) en Schoonhoven (km 971.585) naar km 959 geïnterpoleerd. Vanwege de hoge landstrook rondom de strang, wordt deze niet doorstroomt bij Boven-Rijn afvoeren onder $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ (gemiddeld ongeveer 11 maanden per jaar). Gemiddeld een maand per jaar zijn er hogere waterstanden (bij Boven-Rijn afvoeren vanaf $4000 \text{ m}^3/\text{s}$) met stroming door de strang. Voor nog grotere Boven-Rijn afvoeren (boven $8000 \text{ m}^3/\text{s}$, gemiddeld een dag per jaar) wordt ook de uiterwaard rechts van de strang stroomvoerend. Dus stroming door de strang vindt gemiddeld een maand per jaar plaats. In Fig.4 is de daggemiddelde waterstand bij km 959 weergegeven.



Figuur 4 Geschatte lokale, daggemiddelde waterstand bij km 959.

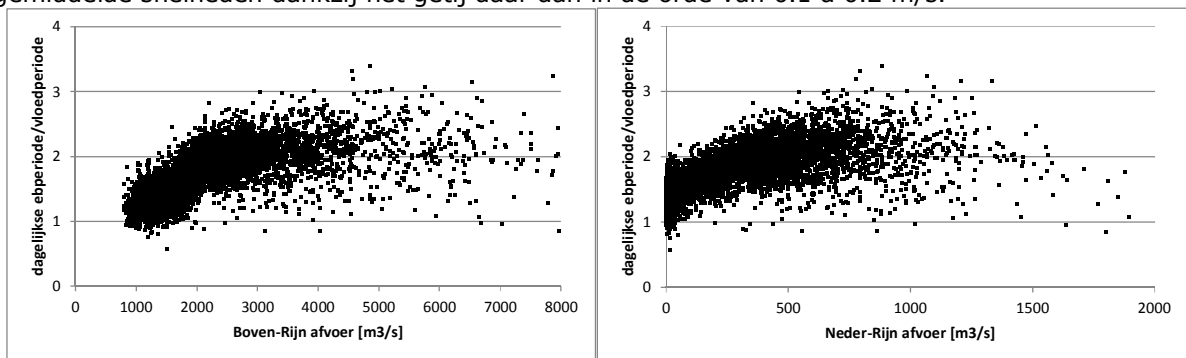
Sinds 1995 is met name in de perioden 1999-2004 en 2011-2014 sprake geweest van stroming door de strang. In de perioden 1996-1998 en 2005-2010 is dat eigenlijk niet of nauwelijks het geval.

Behalve een variatie door verloop in rivierafvoer is er ter plekke ook de invloed van getij. Deze is weergegeven in Fig.5 als functie van de rivierafvoer (bij Lobith) en van de lokale daggemiddelde waterstand bij km 959. Hieruit blijkt dat voor waterstanden tot NAP+1.8 m, dus in perioden dat de strang niet meestroomt, de waterstanden in de strang door getij met 1.0 a 1.5 m variëren. Voor hogere waterstanden met meestromende strang is deze variatie in de orde van 0.5 m.



Figuur 5 Geschatte, lokale dagelijkse waterstandsvariatie bij km 959.

Bij elke waterstandsstijging op de rivier is sprake van stroming naar de strang, idem dito is er stroming uit de strang bij elke waterstandsval op de rivier. Het volume dat vanwege het getij dagelijks de strang in- en uitstroomt kan worden geschat met de grootte van de waterstandsvariatie (Fig.5) en het oppervlak van de strang. Bij een gemiddelde rivierafvoer is het maximale dagelijkse waterstandsverschil circa 1.25 m (Fig.5). Het wateroppervlak van de strang wordt geschat op ongeveer 94.000 m². Dus tussen eb en vloed wisselt circa 115.000 m³ water tussen rivier en strang. De daarbijbehorende stroomsnelheden kunnen worden geschat met behulp van de periode waarin de waterstand stijgt en daalt en het oppervlak van het stroomvoerende dwarsprofiel. Door wrijving en rivierstroming is het getij op de rivier zo vervormd dat vloed (stijgende waterstand) aanzienlijk korter duurt dan eb. Deze asymmetrie neemt toe met een grotere tegenstroom, dus stijgende rivierafvoer (Fig.5-a). Voor een gemiddelde rivierafvoer duurt tussen Schoonhoven en Hagestein een karakteristieke vloedperiode dan 3 a 4 uur. Het gemiddelde debiet naar de strang is dan 8 m³/s. Het leegstromen van de strang tijdens eb duurt grofweg tweemaal langer; het gemiddelde uitwisselingsdebiet in de ebperiode is dus een factor 2 lager. De breedte van monding en tussenstuk varieert in de strang van 35 tot 65 m; bij 1 m diepte zijn de gemiddelde snelheden dankzij het getij daar dan in de orde van 0.1 á 0.2 m/s.



Figuur 5-a Verhouding dagelijkse waterstandsstijging/waterstandsval.

Tenslotte is er de snelle fluctuatie ten tijde van passerende scheepvaart. Deze variatie is in de orde van $H = 0.2$ á 0.3 dm. Via delen dieper dan 0.6 m kan deze fluctuatie zich in de strang dringen, tot aan de ondiepere zones langs de oever.

4) Oevererosie

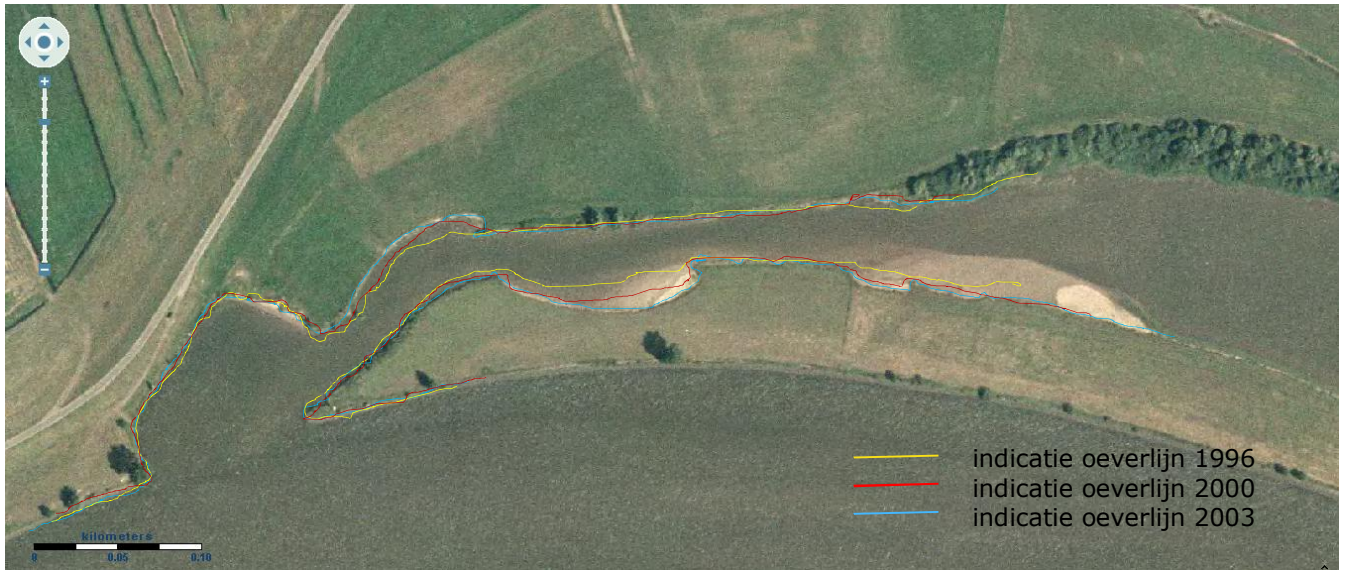
De Horde is vermoedelijk tussen 1960 en 1996 gegraven. Het middendeel en de westelijke aansluiting met de rivier zijn smaller dan het diepere oostelijke deel. Bij stroomvoering door de strang zijn stroomsnelheden in de smallere delen groter. Met luchtfoto's uit voorgaande jaren is de oevererosie in de strang van de Horde goed te volgen.



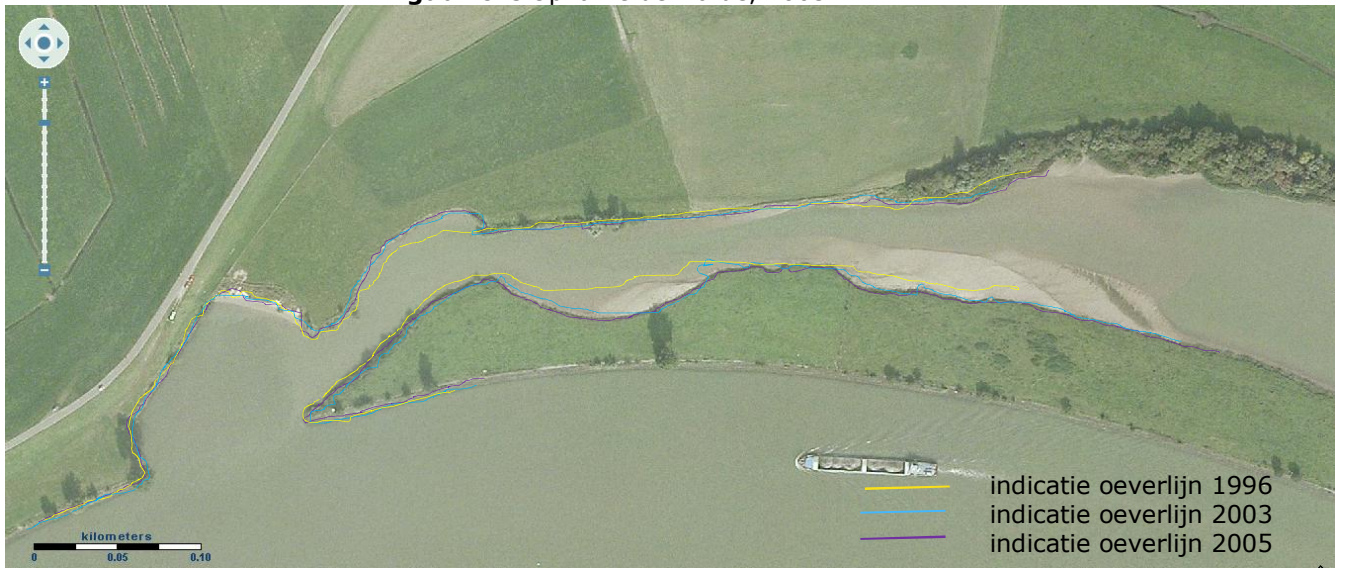
Figuur 6-a Opname de Horde, 1996.



Figuur 6-b Opname de Horde, 2000.



Figuur 6-c Opname de Horde, 2003.



Figuur 6-d Opname de Horde, 2005.



Figuur 6-e Opname de Horde, 2006.



Figuur 6-f Opname de Horde, 2007.



Figuur 6-g Opname de Horde, 2008.



Figuur 6-h Opname de Horde, 2009.



Figuur 6-i Opname de Horde, 2010.



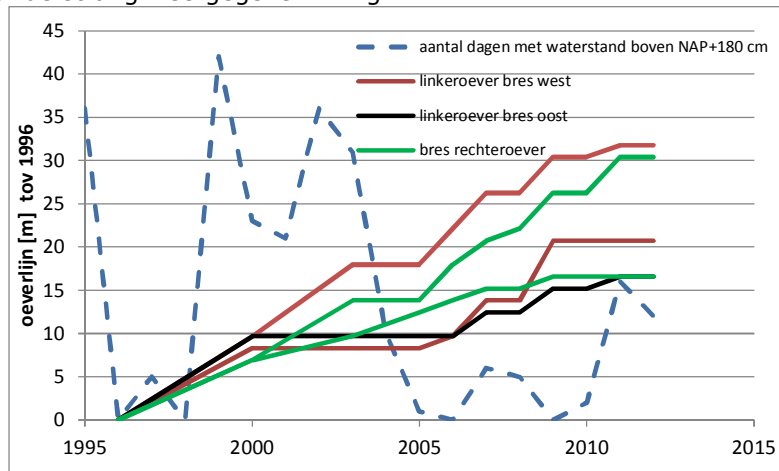
Figuur 6-j Opname de Horde, 2011.



Figuur 6-k Opname de Horde, 2012.

De verschuivende oeverlijnen in de serie luchtfoto's laten over de gehele lengte erosie van de linkeroever zien met een gemiddelde van 1.2 tot 2.4 m per jaar. De rechteroever erodeert op twee

plekken; bij de aansluiting van de strang in het westelijk deel en direct stroomafwaarts van de vegetatie langs het brede deel van de strang. Ter plekke van vegetatie is de oever stabiel. De geschatte grootte van de oeverlijnverplaatsing is samen met het geschatte jaarlijkse aantal dagen van stroming door de strang weergegeven in Fig.7.



Figuur 7 Positie oeverlijn tov 1996.

Het verloop in Fig.7 duidt op het volgende. In de periode 1999-2004, met veel stroming door de strang, varieerde de afslag van 1 tot 5 m per jaar. In de periode 2005-2010 zonder veel stroming door de strang was de afslag 1 a 2 m per jaar. In de periode 2011-2013, met opnieuw enige stroming door de strang, is de oeverafslag 0,7 tot 2 m per jaar.

Het erosiepatroon lijkt dan op een min of meer continue oeverafslag van 1 a 2 m per jaar, met grofweg een verdubbeling daarvan in jaren met een tijdens (lagere) hoogwaters meestromende strang.

De oorzaak van de oevererosie in de strang lijkt daarom tweeledig. Er is een vrijwel continue dissipatie van golf- en stromingsenergie op de oevers, over een door het riviergetij brede waterstandsrage van circa 2 m (Fig.5). Het erosiemateriaal dat losraakt uit de oever, wordt vervolgens door stroming verplaatst in en uit de strang. Bovendien neemt in perioden van (lagere) hoogwaters de sterkte van de verzadigde hoge oever af en kan de rivierstroming sediment uit oevers en strangbodem uit de strang transporteren.

5) Vermindering golfbelasting op oevers

De golfenergie in de strang heeft de vorm van een haal-, trek golf en tussenliggende spiegeldaling die wordt opgewekt door waterverplaatsende passerende schepen op de vaarweg. Deze waterstandsdynamiek, met een geschatte grootte van circa 0.3 m, plant zich vanaf de vaarweg voort tot in de strang. De kinetische energie van de tijdens passerende schepen opgewekte waterstandsdynamiek dissipeert in een zone van enige decimeters rondom de waterstand. Dat gaat bij te steile oevers gepaard met het losmaken en verplaatsen van sediment. Daarom leidt zo'n vrijwel continue hydraulische belasting bij een zandige ondergrond tot een flauw talud op de onderwateroever van circa 1:10 a 1:20. Zolang dit evenwichtstalud voor de brede waterstandsrage tussen circa NAP-100 cm en NAP+250 cm (Fig.5) niet is ontwikkeld (Fig.6-k) of door geulvorming als gevolg van stroming tijdens hoogwater weer te niet wordt gedaan, blijft oevererosie in de strang door gaan.

Een vermindering van erosie is dus alleen mogelijk als deze hydraulische belasting wordt verminderd en/of de oever wordt versterkt. De principe-oplossingen hiervoor zijn

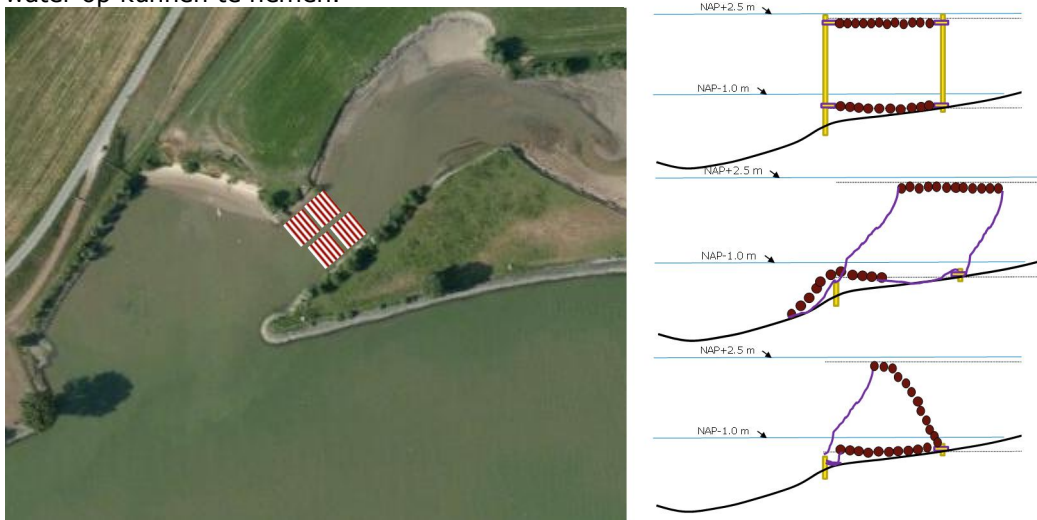
- i) beperking van golfenergie die de strang binnen treedt
- ii) vermindering van de directe golfbelasting op de oever
- iii) versterking van de oever

Ad i), vermindering van de overdracht van golfbelasting vanuit de vaarweg aan de strang kan door verankerde elementen aan te brengen in de aansluiting tussen strang en vaarweg. Voor een significante golfdemping door *vertikale* elementen (palenrij) dient tot grofweg NAP+200 cm meer

dan 80% van het profiel van de aansluiting te worden dichtgezet. Dit is een dermate grote afsluiting dat ook de afvoer bij hoogwater er door belemmert zou worden.

Dit is minder het geval als *horizontale* elementen worden toegepast, als een "drijvende mat" ter hoogte van de waterstand. In theorie is dit effectief als zo'n constructie de gehele breedte van de afsluiting omvat met in golfrichting een lengte van circa 2 tot 5 maal de lengte van de voor de oevererosie kritieke golven. Dat is in dit geval minimaal de lengte van brekende haal- en trekgolven. Praktisch betekent dat het gehele oppervlak van de aansluiting tussen strang en hoofdgeul over een lengte van circa 25 a 50 m dient te worden volgelegd met zo'n "drijvende mat".

Deze mat, dient plaatsvast en voldoende stijf te zijn om de krachten uit de dynamiek van stroming en waterstand te kunnen opvangen. De mat zou kunnen worden gemaakt als een vlot van boomstammen, al of niet afgedekt met een rijshouten zinkstuk met vegetatie in de vakken. Dit mat beweegt vertikaal mee met de waterstand en is horizontaal plaatsvast verankerd om impuls uit het water op kunnen te nemen.



Figuur 8 Demping van oppervlaktestroming en -golven door een drijvend bomenvlot voor de oever.

Het vlot bestaat uit onderling verbonden bomen dwars op de richting van de hydraulische belasting worden gelegd, en eventueel door enkele bomen overdwars stijf met elkaar verbonden zijn (Fig.8). Vermoedelijk is op 1 m waterdiepte een aantal van grofweg 50 boomstammen nodig om de amplitude van de dynamiek die op de strang afkomt te halveren. Bij 2 m waterdiepte is dat het dubbele. Voor een redelijke werking bij verschillende waterstanden kan daarom worden gedacht aan een volume van 100 boomstammen in de richting van de dynamiek. Over de 30 m brede aansluiting betekent dat een drietal drijvende bomenvelden van elk 100 boomstammen dwars op de opening. Om de effectiviteit hiervan te testen, is het nuttig om in een aantal bomenvelden/vlotten ook de stammen juist in de richting van de belasting te leggen.

Voor zulke bomenvelden zijn verschillende varianten denkbaar (rechterzijde Fig.8). In de bovenste schets van Fig.8 is het bomenveld (de horizontale bruine contour) opgesloten tussen verticale staanders (bv stalen I-profielen) om afdrijven te voorkomen. De bomen moeten aan de staanders verankerd worden, met minimale wrijving in verticale richting, dat is in een dynamische omgeving vermoedelijk lastig te realiseren. Verankering met kettingen (middelste schets bij Fig.8) aan lagere I-profielen lijkt eenvoudiger te realiseren, maar vanwege een grotere bewegingsvrijheid is er ook een grotere kans dat velden met elkaar verstrikt raken. Een combinatie van beide oplossingen is de onderste schets van Fig.8 waarbij de verbinding aan strangzijde zodanig is kort dat het bomenveld/vlot meer roteert dan vertikaal verplaatst. Echter, bij deze variant wordt vermoedelijk de stroomvoering bij hoogwater te veel belemmerd.

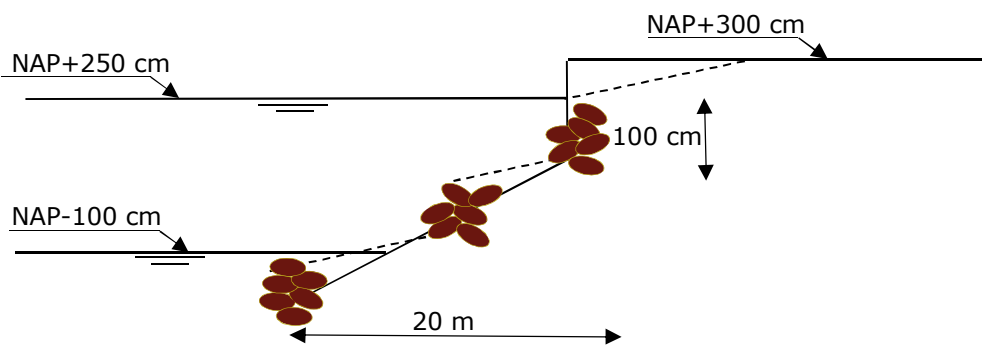
Het bomenveld van Fig.8 verliest na verloop van tijd drijfvermogen en daarmee effectiviteit. De oeververdediging in de strang zou hier op kunnen worden afgestemd, er kan na verloop van tijd extra drijfvermogen aan het bomenveld/vlot worden toegevoegd (vers hout, oude boeien of ander drijvend materiaal) of het verzonken vlot zou kunnen worden vervangen door een nieuw vlot met nog onverzadigd hout. Het verzadigde hout zou ten behoeve van KRW eenvoudig in de diepere delen van het uitstroomvak kunnen worden gestort.

Schade van zo'n bomenveld/vlot door zware ijsgang moet vooralsnog geaccepteerd worden omdat die belasting weinig voorkomt.

Ad ii) en iii) vermindering van golfbelasting en stabilisering van het bodemprofiel direct voor de oever door in drie linies (Fig.9) van hoge stapels/bundels van gesnoeide bomen/stammen/takken. De bundels hebben een doorsnede van grofweg 1 m x 1m met een redelijk open structuur. De onderste linie ligt op een NAP-2.0 m hoogtecontour. Deze ligt bijna permanent onder water en blijft daardoor vermoedelijk voldoende lang behouden. De bovenste linie ligt op NAP+1.0 m en is beperkt verdronken. Dit hout is bestemd om na enkele jaren uit te lopen als stabiele oeverbegroeiing. Omdat de oeverlijn in stroomrichting ligt, is hoogstwaarschijnlijk de invloed hiervan op maatgevende hoogwaterstanden beperkt.

De duurzaamheid van de middelste linie op NAP-0.5 m, die wisselend nat en droog is, lijkt beperkt en heeft daardoor een tijdelijke functie. Onduidelijk is hoe snel dit achteruit kan gaan en hoe de bovenste, wortelende houtlinie standhoudt als de middenlinie is verdwenen.

Voor alle stapels/bundels is een verankering nodig zodanig dat deze niet op-& wegdrijven.



Figuur 9 Typisch dwarsprofiel met aangepaste oever.

6) Vermindering van de hydraulische belasting tijdens hoogwater

Omdat in jaren met hogere rivierafvoeren grotere verplaatsingen van de oevererosie zijn te zien wordt gesteld dat stroming door de strang tijdens (lagere) hoogwaters de erosie uit oevers (en bodem) van de strang versnelt. Deze versnelde oeverafslag kan worden verminderd door verlaging van stroomsnelheden met behulp van verruiming in de strang en herprofilering van de strangoevers, en door correctie van stroomsnelheden in de strang. Beide aspecten worden kort uitgewerkt.

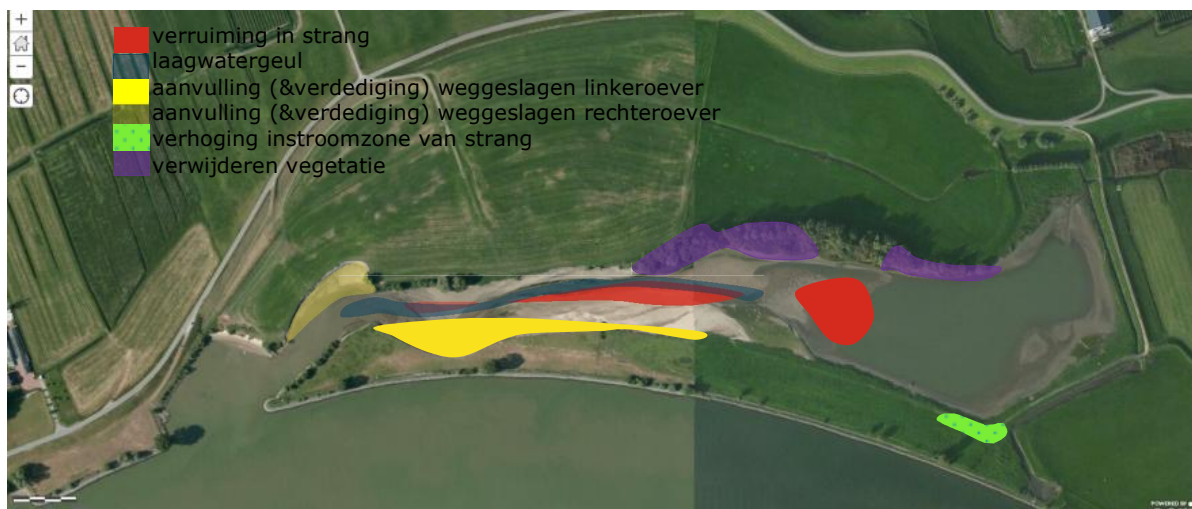
De eerste optie, verruiming en herprofilering kan op verschillende manieren door

i) het middendeel van de strang in de vorm van een laagwatergeul te verruimen en dat sediment te gebruiken voor het herprofileren van de weggeslagen strangoevers (het aangebrachte sediment moet vervolgens ook tegen golfwerking worden verdedigd). De stroomsnelheden in de strang nemen evenredig met de verruiming in de strang af, en daarmee ook de eroderende werking tijdens hoogwater.

De verruiming in het middendeel is begrensd; het mag niet leiden tot te lage en uniforme stroomsnelheden in de laagwatergeul (aanslibbing) en tot te steile onderwatertaluds langs de strangoevers. Dit beperkt het beschikbare verruimingsvolume uit de strang. Als meer van de afgeslagen oever moet worden hersteld, dan zou dit volume uit het brede oostelijke deel van de strang kunnen worden gehaald.

ii) het middendeel van de strang (aanvullend) te verruimen en dat sediment te gebruiken voor het verhogen van het laagste deel van de landstrook tot maximaal NAP+3.0 m. De frequentie waarmee de strang jaarlijks meestroomt wordt dan significant verlaagd. Dit vertraagt de oeverafslag in jaren met veel hoogwater.

iii) de bomen in het oostelijk deel ten noorden van de strang te snoeien zodat bij extremere hoogwaters, de achterliggende uiterwaard gemakkelijker meestroomt en de strang enigszins ontlast.



Figuur 10 Opties i, ii en iii verruiming en herprofilering.

Het is duidelijk dat optie i), herprofilering van de strangoevers naar het oorspronkelijk profiel effectief is voor het herstel van het lokale N2000 areaal. Als de bodemkwaliteit het toelaat, zou hiervoor sediment uit de strang moeten worden gebruikt zodat de herprofilering de maatgevende hoogwaterstanden niet of nauwelijks beïnvloedt. Het is de moeite waard om het sediment in de herstelde oever ook te verdichten om weerstand tegen erosie verhogen.

Optie ii) richt zich op vermindering van erosie door de frequentie van doorstroming in de strang omlaag te brengen. Echter deze doorstroming bij lagere hoogwaters draagt door enige morfodynamiek in de strang en uitspoeling van slib ook bij aan de biologische kwaliteit van de strang. Al te grote vermindering van deze doorstroomfrequentie is dus niet gunstig voor KRW.

Omdat optie iii) alleen effectief is voor extremere hoogwaters is dit vooral relevant vanwege het mogelijk gebruik van hout in de andere opties.

Behalve herprofilen van de oevers en verruimen in de strang kan worden gedacht aan correctie van stroomsnelheden in de strang door

iv) houten schermen/lijnvegetatie ("kribben") vanaf de hoge (aangevulde) strangoevers, met als doel de maximale hoogwaterstroomsnelheden in de verruimde geul te concentreren. Om te voorkomen dat dergelijke constructies leiden tot nieuwe oeverafslag zou dit langs de gehele linker- en rechterstrangoever worden uitgevoerd. Daarbij is een fasering mogelijk (zie getrokken en gestippelde bruine lijnen in Fig.11).

De kruin van de "kribben" verloopt van de hoge oever tot de lage bedding in de strang om opstuwung van hoogwaterstanden te voorkomen. De "kribben kunnen worden uitgevoerd met stabiele stapels/bundels bomen/stammen/takken. Daarbij is verankering nodig om afdrijven van hout te voorkomen. Omdat deze vegetatie onder een hoek met stroming wordt aangebracht, dient te grote uitloop hiervan door passend beheer te worden voorkomen. Rondom de "kribben" is ontgroning mogelijk, dit kan leiden tot opnieuw enige afslag van de oevers.



Figuur 11 Optie iv, correctie (hoogwater)stroming in de strang door "houten kribben" uit de oever

v) met lage houten schermen in de delen van de strang dieper dan NAP-100 m, de sedimentrijke onderstroom (tijdens doorstroming van de strang en bij uitstroming als gevolg van scheepvaarteffecten) richting oevers te leiden (Fig.12). Als de strang is verruimd om de oevers te herprofilen is er meer ruimte gekomen voor dergelijke schermen in de diepere delen.

Als echter deze diepere delen van de strang door de dynamiek van de strangbodem verplaatsen, neemt de werking van deze schermen af.



Figuur 12 Optie v, correctie (hoogwater)stroming met lage schermen in de diepe delen.

7) Conclusies

Het erosiepatroon bij De Horde is een min of meer continue oeverafslag van 1 a 2 m per jaar, met grofweg een verdubbeling daarvan in jaren met een tijdens (lagere) hoogwaters meestromende strang. Deze oevererosie in de strang is vermoedelijk te wijten aan de losgepakte, zandige opbouw van de hoge steile oever die met name tijdens (lagere) hoogwaters (gemiddeld 1 maand per jaar) erodeert. Doel is de sterkte van de oever zodanig te verhogen dat de biologische kwaliteit in de strang toeneemt en het areaal stroomdalgrasland wordt bestendigd.

Een ingreep bestaat dan in ieder geval uit herstel van het areaal op NAP+3.0 m door profilering tot de 1996 oeverlijn (gele contour in Fig.10). Met deze redelijk rechte oeverlijn wordt concentratie van hydraulische belasting op een oeverstuk voorkomen. Het benodigde sediment dient bij voorkeur uit de strang te worden gehaald om opstuwing van hoogwaterstanden te voorkomen. Het uitgraven dient zo te gebeuren dat het natuurlijke patroon van eb- en vloedcharen en -banken zoveel als mogelijk behouden blijft, omdat deze waardevol zijn voor bodemdieren en vogels.

Om de herstelde oeverlijn tegen erosie te beschermen dient deze vervolgens te worden gestabiliseerd middels drie flauwe 1:10 a 1:20 terrassen, gescheiden door drie circa 1 m hoge houtlinies op circa 5 m van elkaar en parallel aan de herstelde oeverlijn (Fig.9). De onderste linie ligt op NAP-2.0 m, dus bijna permanent onder water om volledig bij te dragen aan KRW. De bovenste linie ligt op NAP+1.0 m en is beperkt verdrongen; dit hout is ook bestemd om na enkele jaren uit te lopen als stabiele oeverbegroeiing. De middelste houtlinie op NAP-0.5 m is wisselend nat en droog. De duurzaamheid daarvan lijkt beperkt. Daarom is, *in het juiste seizoen*, op dit middelste terras aanplant van rietvegetatie nodig die na enkele groeiseizoenen een bijdrage moet leveren aan de bescherming van de oever.

Dus, de aanbevolen oplossing omvat het aanbrengen van zand in de bres en het plaatsen van hout langs de oever en de aanplant van riet tussen de houtlinies. Opstuwing van hoogwaterstanden kan gedeels worden voorkomen door het benodigde zand uit de bij hoogwater stroomvoerende delen van de strang te halen.

8 Grove inschatting van hoeveelheden

zand

De aanvulling betreft gemiddeld 30 m oever over circa 300 m lengte en 2 m hoogte. Een eerste inschatting van het volume is dan 18.000 m^3 . Met een kostprijs van ** euro per m^3 betekent dit een aanleg van ** keuro.

hout

De drie houtlinies hebben elk een doorsnede van 1 a 2 m^2 over 300 m lengte. Als zo'n linie kan worden opgebouwd uit bijvoorbeeld 6 stammen van circa 6 m, dan vergt dan $6 \cdot 50 = 300$ bomen per linie, dus 900 in totaal. Om verplaatsing van de stammen te voorkomen worden ze bijvoorbeeld om de 3 meter opgesloten met een tweetal staanders die over de stammen met elkaar verbonden zijn. Dat vergt in totaal circa driemaal $2 \times 100 = 600$ staanders. Afhankelijk van de benodigde duurzaamheid zijn er houten of stalen staanders nodig, die in de grond moeten worden gedrukt. De goedkoopste variant lijkt gebruik van boomstammen als houten staanders in Fig.13-a, de duurste variant lijkt gebruik van stalen (of verduurzaamde houten) staanders en kettingen in het droogvallend deel. Dus grofweg zijn er 900 boomstammen nodig van circa 6 lengte en daarbij 600 staanders met zonodig 300 verbindingen.

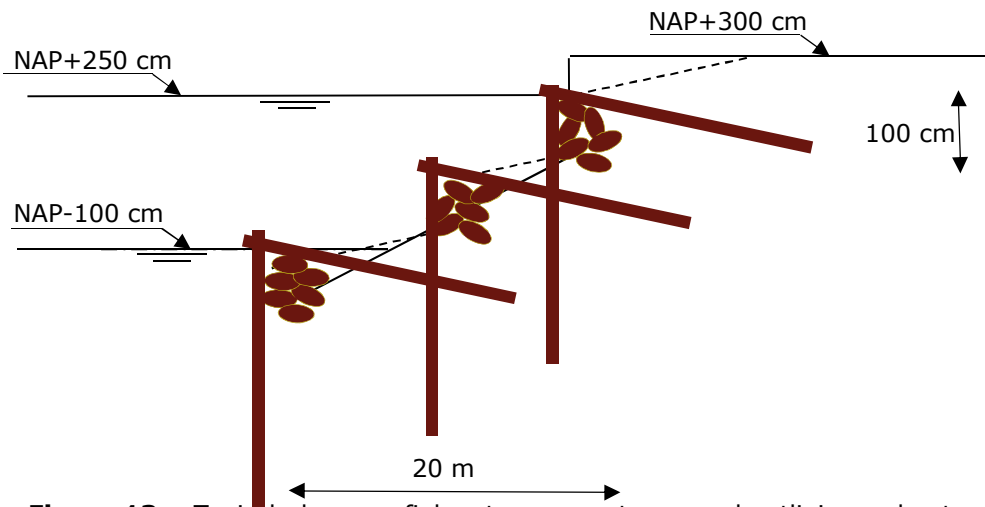
De kosten voor aanschaf en plaatsing daarvan worden geschat op **

| | |
|---|----------|
| 900+600=1500 boomstammen (Fig.13-a) | = |
| 1500 boomstammen en 300 kettingen (Fig.13-b) | = |
| 900 + 200 boomstammen, 300 kettingen en | |
| 400 stalen/verduurzaamde staanders (Fig.13-c) | = _____+ |

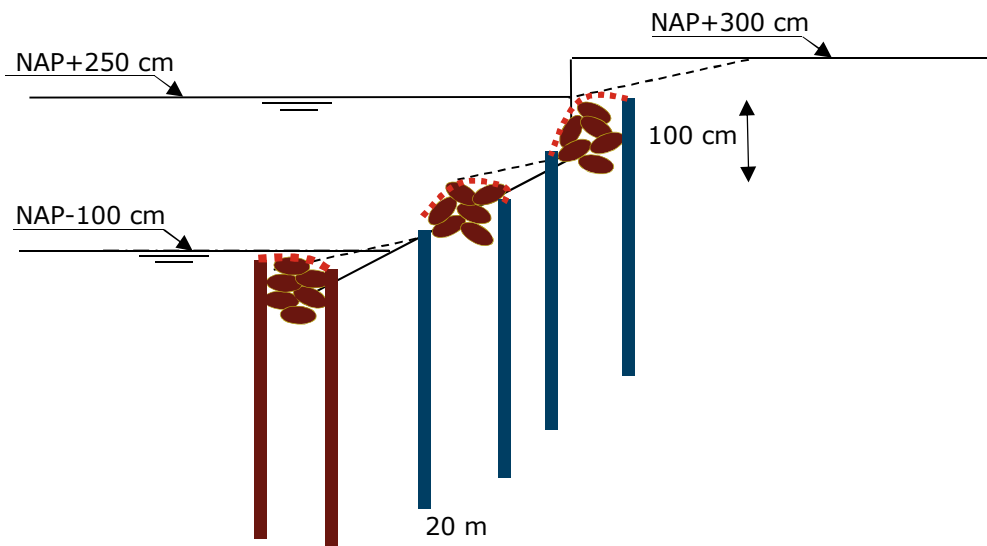
Riet

Tenslotte dient op het middelste terras riet aangeplant te worden. Het gaat om een oppervlak van $300 \times 5 = 1500 \text{ m}^2$. De kosten voor aanschaf en plaatsing daarvan worden geschat op **

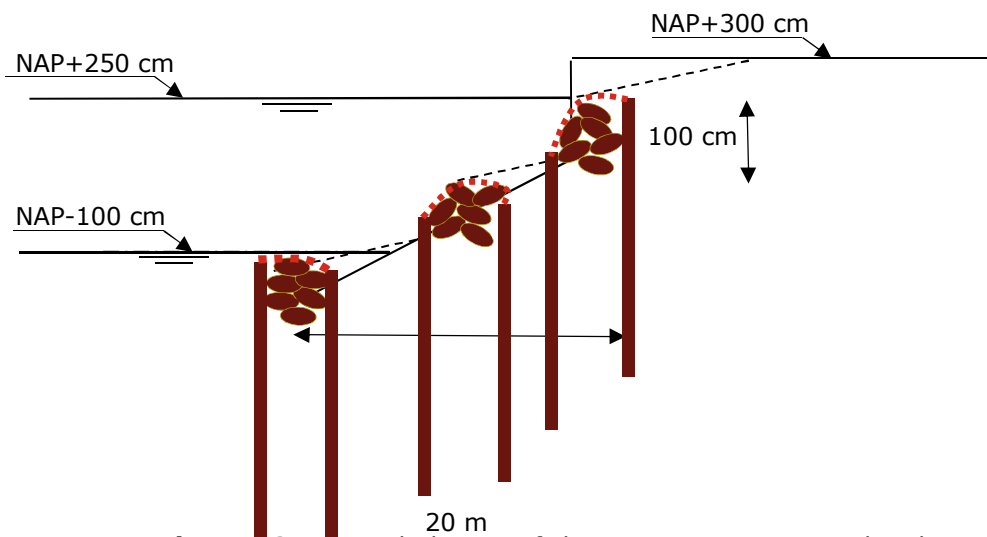
Voor alle stapels/bundels is een verankering nodig zodanig dat deze niet op- & wegdrijven.



Figuur 13-a Typisch dwarsprofiel met aangepaste oever, houtlinies en houten staanders.



Figuur 13-b Typisch dwarsprofiel met aangepaste oever, houtlinies, Stalen staanders en kettingen.

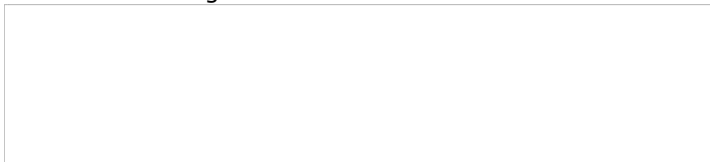


Figuur 13-c Typisch dwarsprofiel met aangepaste oever, houtlinies, houten staanders en kettingen.

Bijlage 8: Voorstel rivierhout Lent



Aan Yvette Pas, Gert de Vries (gemeente Nijmegen)
en andere belangstellenden



RWS Oost-Nederland

Eusebiusbuitensingel 66
6828 HZ Arnhem
Postbus 25
6200 MA Maastricht
T (026) 368 89 11
F (026) 363 48 97
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

Margriet Schoor
adviseur ecologie en
waterkwaliteit

T 06-22788123
margriet.schoor@rws.nl

memo

Plan rivierhout in nevengeul Lent, versie 2

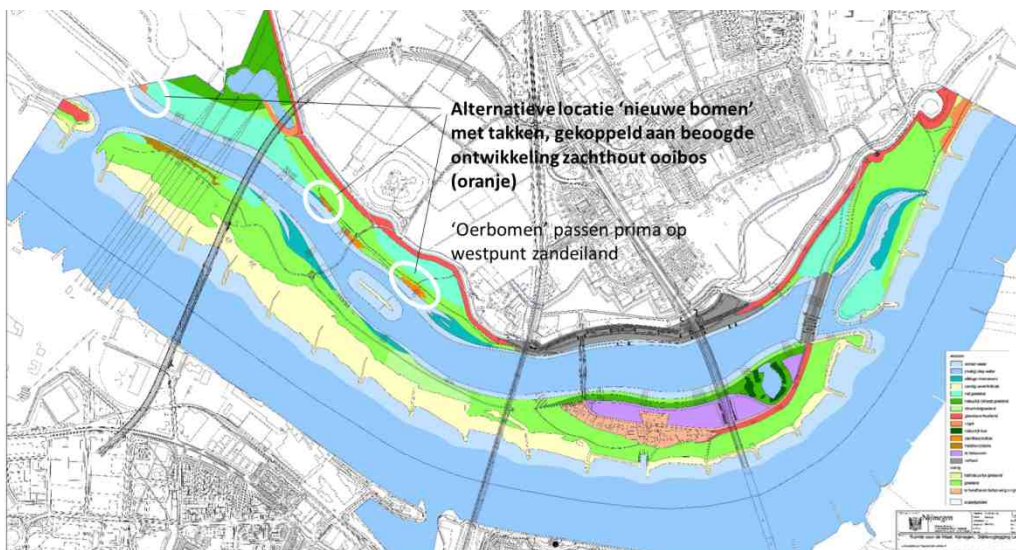
Beste Yvette,

Hierbij een uitwerking van onze eerdere concept voorstellen, aansluitend op het overleg dat we hierover hadden op 9 juni 2015.

Inleiding

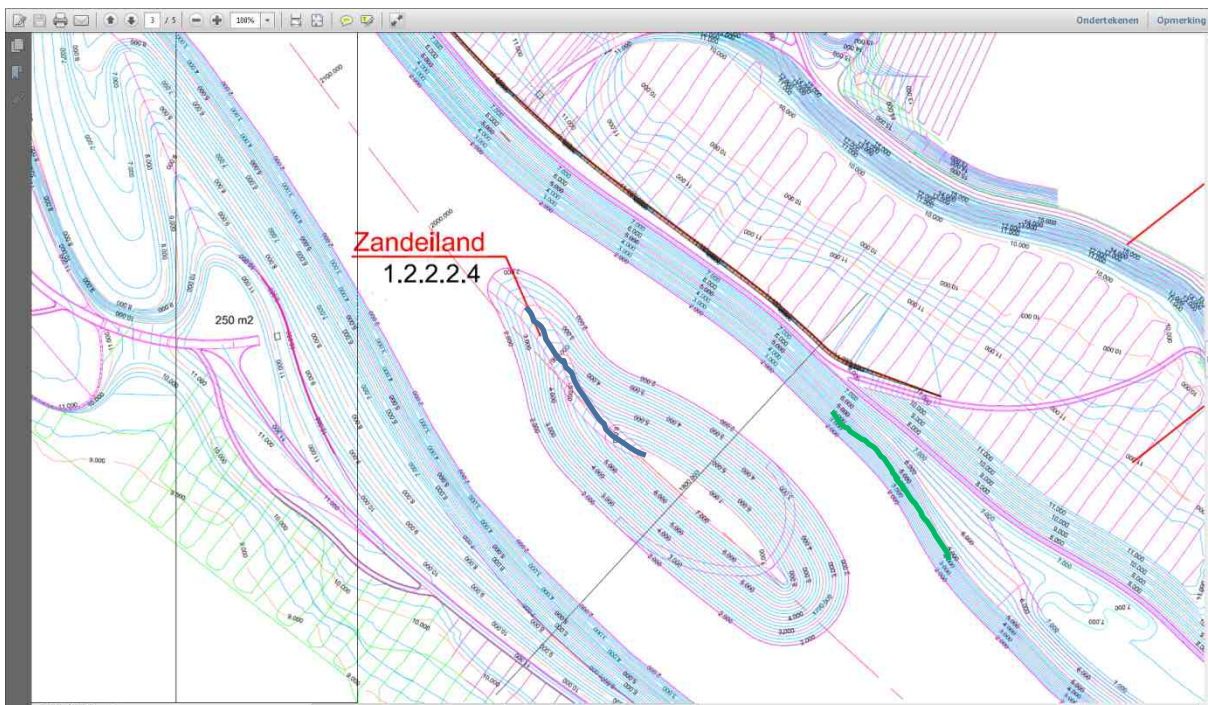
Bij het graven van de nevengeul Lent zijn 3 (enkele duizenden jaren) oude bomen gevonden. Vanuit het RWS KRW project pilot rivierhout is geopperd deze als rivierhout terug te plaatsen, gecombineerd met nieuwe dode bomen. Doel: hout als leefgebied voor macrofauna toevoegen en de structuur vergroten in de nevengeul waarvan vissen en macrofauna kunnen profiteren. Vanuit de pilot rivierhout zal monitoring en analyse van de resultaten plaatsvinden.

Eerste idee was oude en nieuwe bomen te plaatsen op de staart van het zandeiland. Q-team Nijmegen had voor de nieuwe dode bomen de voorkeur voor een locatie grenzend aan bomen op oevers (zoals op plankaart hieronder). De variant daarvan die volgens ons de minste opstuwende werking heeft is in deze memo uitgewerkt. (De spoorbrug Nijmegen is hydarulisch bepalend, daar is het profiel het smalst, berekeningen Lent door Wiebe de Jong, RHDHV)



Datum
16 juni 2015

| | |
|-----------------------------|---|
| Randvoorwaarden hydraulica: | geen opstuwende werking. --> plaatsing in de stroomschaduw van het eiland en niet boven de gemiddelde waterstand. |
| Randvoorwaarden KRW: | Zo vaak mogelijk onder water en licht moet doordringen, zoveel mogelijk structuur. --> Onder gemiddelde waterstand, niet dieper dan 2 meter onder laagste waterstand, bomen met takken. |
| Randvoorwaarden educatie: | Zichtbaarheid voor wandelaars. Bij zoveel mogelijk waterstanden zichtbaar. Mogelijkheid voor plaatsen informatiebord. |
| Waterstanden: | Gemiddelde waterstand 7 m. NAP Laagste waterstand 5 m. NAP Diepte geulbodern 2 m. NAP |
| Helling oever | 1:4 |
| Helling staart eiland | 1:30 |



blauwe lijn: ligging van de bomenrij indien op staart eiland
groene lijn: bomenrij indien op oever oobos

Oude en nieuwe bomen:

Oude boomstammen die bij de aanleg van de nevengeul gevonden zijn, zullen gecombineerd worden met nieuwe dode bomen, waar wortels en takken nog aan zitten. Dit verhoogt de variatie onder water.

Locatie oude bomen

De oude bomen zullen op het zandeiland geplaatst worden. Uitstraling zo natuurlijk mogelijk. Alsof ze net zijn aangespoeld en niet duizenden jaren terug.

Van de 3 oude bomen wordt er 1 op een diepe locatie geplaatst, 1 ter plaatse van gemiddelde waterstand (top eiland) en 1 daar tussenin. De diep gelegen boom zal niet verrotten en zo blijft deze behouden. De ondiep geplaatste bomen zullen doordat deze een gedeelte van het jaar droog vallen onder invloed van zuurstof wel verrotten. Ondiepe plaatsing heeft echter educatieve meerwaarde, het is beter zichtbaar.

Locatie nieuwe bomen:

Van de 3 door Q-team Nijmegen geopperde locaties grenzen aan (op de plankkaart) met bomen begroeide oevers. Daarvan biedt de middelste de minste hydraulische ruimte. De geul is daar al relatief smal, dus het profiel mag daar niet kleiner worden. Bomen in de (onderwater)oever verkleinen in principe het profiel. Deze locatie valt af.

De andere twee locaties bieden genoeg ruimte, mits het ontwerp rekening houdt met de doorstroming. Het meest ecologisch kansrijk is de locatie tegenover het eiland, omdat daar meer stroming is dan op de locaties tegenover de uitlaat. Bovendien is de relatie met de ouden bomen op het zandeiland beter zichtbaar. Daarom is de locatie tegenover het eiland verder uitgewerkt.

Het toekomstige ooibos op die locatie heeft ongeveer 100 meter oeverlengte. De helling van de oever is er 1:4

Schets

Het ontwerp bestaat uit 3 onregelmatige rijen bomen met takken en wortelkluit (broek), die parallel aan de oever liggen op een diepte van ca. 4 m NAP. (tussen 3 m NAP en 5 m NAP.) De kronen van de bomen in de ene rij, zullen deels overlappen met de bomen uit de andere rij, dit komt de structuurvariatie ten goede. Het wordt als het ware 1 liggende haag onderwaterbomen van 3 rijen dik. Bij hoogwater stroomt het water links en rechts van de bomen sneller, en ter hoogte van de bomen langzamer, dan in huidige situatie. Bomen loodrecht op de oever zijn niet mogelijk door de opstuwende werking ervan.

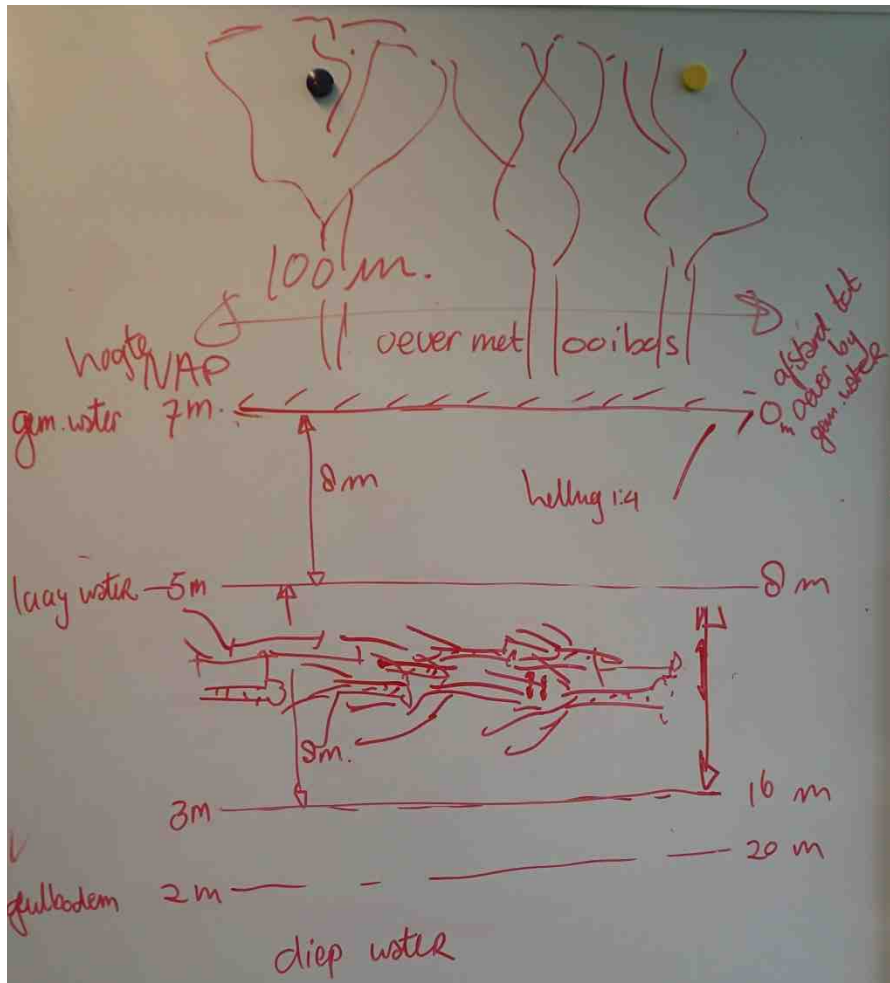
Aantal nieuwe bomen:

Bij een geschatte boomhoogte van 10-15 meter zijn ongeveer 7 bomen nodig voor 1 rij van 100 meter. Omdat het 3 parallelle rijen worden zijn er ca. 20 bomen nodig. Als er minder bomen beschikbaar zijn wordt de rij korter of minder dicht.

Werkwijze verankering:

Er is een hand-out beschikbaar met ervaringen opgedaan in 2013/2014 in de pilot rivierhout.

De bomen zullen naar verwachting worden aangebracht met een kraanschip vanaf het water. Bij laag water is het er ca 1 meter diep, bij gemiddelde waterstand ca 3 meter diep. De bomen zullen worden verankerd met stalen kettingen aan I-profielen die de bodem in getrild worden, of aan betonplaten. Betonplaten zijn goedkoper, maar voegen onnatuurlijk habitat toe. Als er stalen I-profielen gebruikt worden, kunnen deze het makkelijkst bij lage waterstand getrild worden, of er moet een opzet gebruikt worden. Dit ter beoordeling door de aannemer.



Zichtbaarheid bomen

Omdat de bomen voor een groot gedeelte van het jaar onder water liggen, is zichtbaarheid door gebruikers van de geul (o.a. roeiers, kanoërs) van belang. Daarom is het wenselijk dat er een aantal takken boven water uitsteken. Bovendien zal op advies van Egbert IJmker betonning worden aangebracht (obstakelton).

Educatie:

Bij lage en gemiddelde waterstand zijn de bomen goed zichtbaar vanaf de brug naar de westelijke landtong. Hier kan ook een informatiebord geplaatst worden. Boodschap: Hout hoort bij de rivier, oude bomen laten dat zien. Hout vergroot de variatie onder water en is goed voor het leven in de geul en vergroot de biodiversiteit.

Kostenindicatie:

| | | |
|---|---------------------|-----------------|
| 3 oude bomen en transportkosten | | nihil |
| 20 bomen met takken en broekstuk, transportkosten (10 km , bomen liggen aan de weg) | 15 x 180€ | 2.700 € |
| Betonplaten (voor 20 bomen): | 15 x 2 x 100€ | 3.000 € |
| Meerprijs stalen I-profielen (voor 20 bomen): | 15 x 2 x 170€ | 5.100 € |
| Kettingen (voor 20 bomen): | 15 x 2 x 2 m x20€/m | 1.200 € |
| Betonning (2 tonnen) | 2 x 2000€ | 4.000 € |
| Infobord | | 1.000 € |
| Uitvoering (kraanschip, arbeidsloon) | | 15.000 € |
| onvoorzien | | p.m. |
| Totaal | | 32.000 € |

Transportkosten kunnen hoog zijn en zijn afhankelijk van waar de bomen vandaan komen, of ze aan de weg liggen en of er een goede laad- en losplaats voor het kraanschip is. Indien dat duurder is dan begroot, kan er voor gekozen worden betonplaten te gebruiken ipv stalen i-profielen, of om minder bomen neer te leggen. 2 rijen ipv 3 rijen bijvoorbeeld.

Tijdplanning:

1 juli: zicht op beschikbare bomen
1 sept: start uitvoering
1 nov: uiterlijk uitvoering gereed.

Herkomst nieuwe bomen:

Mogelijk betrekken bij gemeenste Beek-Ubbergen, Park Lingezege.

Samenwerking

Dit project maakt onderdeel uit van het Kaderrichtlijn water project Pilot Rivierhout van Rijkswaterstaat Oost Nederland. Het zal in samenwerking met ARK natuurontwikkeling en Ruimte voor de Rivier (i-Lent) worden uitgevoerd. Ark natuurontwikkeling heeft met het projectidee 'Boomwrakken als verbindende schakel voor waterleven' subsidie toegezegd gekregen van de gemeente Nijmegen (Groen Verbindt). Zie bijlage.

Financiering

| | |
|--------------------------------------|-------------------|
| Rijkswaterstaat KRW pilot rivierhout | € 12.000,- |
| ARK natuurontwikkeling | € 5.000,- |
| Groen Verbindt | € 15.000,- |
| Totaal | € 32.000,- |

Afspraken

- Dit verder in gang zetten
- In overleg met Wierdy de Haan (technisch manager geul Lent). Geert de Vries licht hem vast in.
- In overleg met toekomstig beheerder gem. Nijmegen, Fred Aalders
- Yvette Pas zoekt een contactpersoon bij gemeentewerken Nijmegen (voor bomen)

Deze memo is opgesteld in overleg met Arjan Sieben, adviseur morfologie en hydraulica bij RWS WV.

Vriendelijke groeten,

Margriet Schoor
adviseur ecologie en waterkwaliteit

Bijlage 9: Rivierhout langsdam Waal

Bomen in geul achter langsdam Ophemert

1^e uitwerking door Arjan Sieben, Henk
Eerden en Margriet Schoor. 8 december 2015



Luchtfoto laagwater 12 november 2015

Lobith: Waterstand 703 cm, afvoer 903 m³/s
Dit is ongeveer OLR

Uitgangspunten:

- Buiten de recreatiegeul (veiligheid, tussen de oever en de boeien op foto)
- Bij laagwater grotendeels onder water (max ecologisch effect, weinig houtrot)
- Bij gemiddeld water enkele takken boven water (insecten kunnen landen en eieren leggen)
- Niet vlak achter een opening/drempel in de dam (te veel dynamiek, manoeuvreerruimte voor beheer drempels)
- In voormalige kribvakken met het meeste ruimte tussen oever en boeien, met relatief diep (op foto donker) water.
- Een voormalig kribvak als referentie boven/benedenstrooms van de bomen houden
- In 2 voormalige kribvakken een groep bomen verankeren (ca 5? per kribvak)

Meest geschikte plaatsen: 2^e en 5^e kribvak bovenstrooms van de uitlaat (gele vlakken in foto). Voordeel veel ruimte, mogelijk nadeel: invloed van peilfluctuaties door passerende schepen via benedenstroomse einde van geul
Nader bekijken en ontwerpen: als er een peiling is (later in december). Dan bepalen we een contourlijn van ca 60x30 meter, (met XY coördinaten) waarbinnen zeker 5 bomen passen.
Beoogde realisatie: januari 2016

Bijlage 10: Hand out Rivierhout



HANDREIKING RIVIERHOUT. HOE, WAAR EN WAAROM?

Deze handreiking is bedoeld voor initiatiefnemers of uitvoerders die dood hout in de rivier willen aanbrengen. Hierin staat hoe je dit het beste kunt doen en waar je op moet letten. Deze aanwijzingen zijn gebaseerd op de ervaringen in de pilotprojecten in de Nederrijn en de Lek. De toelichting van de afwegingen is belangrijk om de redeneerlijn te kunnen volgen zodat de gebruiker per geval afwegingen op maat kan maken. Geen project is namelijk hetzelfde en om gefundeerde redenen kan afgeweken worden van deze adviezen.

Waarom dood hout in de rivier?

Dood hout in het water vergroot de aquatische biodiversiteit. Dit blijkt uit verschillende onderzoeken en projecten in beken en (buitenlandse) rivieren (zie bijvoorbeeld de [bijeenkomst dood hout van het STOWA Platform Beken en Rivieren](#)). Vroeger kwam er veel meer bos op de Nederlandse rivieroeveren voor en vielen dode bomen vanzelf in de rivier. Door veranderingen in het landgebruik zijn de meeste bossen uit de uiterwaarden verdwenen en moeten tegenwoordig veel bomen wijken vanwege hoogwaterveiligheid. Dode bomen en takken worden uit het water verwijderd in verband met scheepvaartveiligheid. Om toch dood hout in de rivier terug te krijgen anno 2015, moet dit op een veilige en gecontroleerde manier gebeuren.

Daarom is Rijkswaterstaat in 2014 een pilot gestart waarbij dode bomen aangebracht worden in grote rivieren en is de ontwikkeling van het effect op het onderwaterleven gevolgd. Voor deze pilot zijn op verschillende plekken langs de Nederrijn-Lek dode bomen onder water verankerd met zware kettingen aan stalen balken. Op deze manier hebben de bomen wel hun ecologische meerwaarde, maar spoelen ze niet weg bij hoogwater. De monitoringsresultaten laten zien dat het onderwaterleven rond de bomen soortenrijker is en meer inheemse soorten herbergt dan de traditionele oevers met stenen kribben. De bomen bieden groeisubstraat, schuil- en opgroeiplek en voedsel voor allerlei soorten vis en macrofauna, waarvan sommige zeldzaam zijn geworden langs de Nederlandse rivieren.



Foto 1,2,3: Dood hout bij de pilot Everdingen boven en onder water.

Voor de herintroductie van dood hout in de rivier bestaat geen blauwdruk. Elke situatie is weer anders. Toch zijn er wel richtlijnen te geven, aan de hand waarvan per casus de afweging gemaakt moet worden voor de keuze van locatie, boomsoort



en bevestigingswijze, etc. Aspecten die hierbij in overweging genomen worden hebben te maken met:

- ecologisch rendement (E)
- duurzaamheid (D)
- beschikbaarheid (B)
- hoogwaterveiligheid (H)
- scheepvaartveiligheid (S)
- Onderhoud (O)
- Kosten (€).

Welke bomen zijn geschikt?

Voor de keuze van boomsoort is een voorkeur aan te geven, maar moet ook de afweging van praktische haalbaarheid en kosten gemaakt worden. Het is bijvoorbeeld niet nodig om tegen hoge kosten een specifieke boomsoort van ver weg te laten aanrukken als er vlak in de buurt, andere bomen tegen veel lagere kosten beschikbaar zijn.

- Voorkeur voor bomen met een ruwe schors. Hier kan macrofauna zich beter op hechten (E);
- Voorkeur voor hardhoutsoorten omdat deze langer intact blijven (D);
- Voorkeur voor boomsoorten die in het Nederlandse rivierengebied van nature voorkomen, uit het oogpunt van natuurlijkheid (E);
- Voorkeur voor boomsoorten die niet gemakkelijk uitlopen omdat anders het risico bestaat dat de boom weer gaat uitgroeien. Dit is niet wenselijk i.v.m. opstuwning (H); Dit kan ook grotendeels ondervangen worden door de boom voldoende onder water aan te brengen;
- Voorkeur voor bomen van enige omvang (diameter stam >0,4 m) omdat deze langer intact blijven en meer effect hebben op de bodemmorfologie (D, E);
- Voorkeur voor bomen met stam, takken en wortels. Dit levert het meest gevarieerde habitat. De takken geven de 3-dimensionale structuur onder water die nodig is, onder andere als schuilplaats voor jonge vis. De stam levert oppervlak met ruwe bast. De wortels geven weer andere variatie met holtes en uitstekende delen. Als bomen met wortels niet voorradig zijn kan dit element eventueel afvallen (B). Takken zijn wel altijd nodig. De kruin kan eventueel wel enigszins ingenomen worden voor transport, maar de dikke takken moeten er wel aan blijven. (E);
- Als bomen met wortels gebruikt worden, houd er dan (voor de monitoring) rekening mee dat het wortelsubstraat pas goed beschikbaar komt voor macrofauna als de grond er tussenuit gespoeld is;
- Het verdient voorkeur materiaal uit de buurt te gebruiken uit het oogpunt van duurzaamheid. Tegelijk worden hier de transportkosten mee beperkt. Voorbeeld zijn bomen die vanuit veiligheidsoverwegingen uit de uiterwaard verwijderd moeten worden en op deze manier opnieuw een functie kunnen krijgen. Dit kan een reden zijn om af te wijken van bovenstaande richtlijnen (B,D,€).
- De soorten die het eerst in aanmerking komen zijn (in volgorde van voorkeur): eik, els, iep, populier, es.



Foto 4,5: Boom van enige omvang, met wortels en takken heeft de voorkeur.

Waar aanbrengen?

Rivierhout is van belang als aanhechtingsplaats voor macrofauna en als habitatstructuur voor vis. Daarnaast beïnvloedt het de morfologie van de bodem. Doordat de stroming door de boom onder water beïnvloed wordt ontstaan plekken met aanzanding en erosie op de rivierbodem. Van deze variatie in bodemvormologie profiteren weer andere soorten. Deze effecten zijn het sterkst in stromende beken en rivieren, daarom hebben locaties met stromend water de voorkeur boven stagnant water. Bovendien zijn een aantal bijzondere macrofaunasoorten die op hout voorkomen (filteraars) gebonden aan stromend water. Desondanks kan ook in stagnante of langzaam stromende wateren dood hout in het water meerwaarde hebben. Ook daar geldt immers dat het hout de habitatvariatie vergroot. Veiligheid voor scheepvaart en hoogwater zijn dominante criteria voor de locatiekeuze.

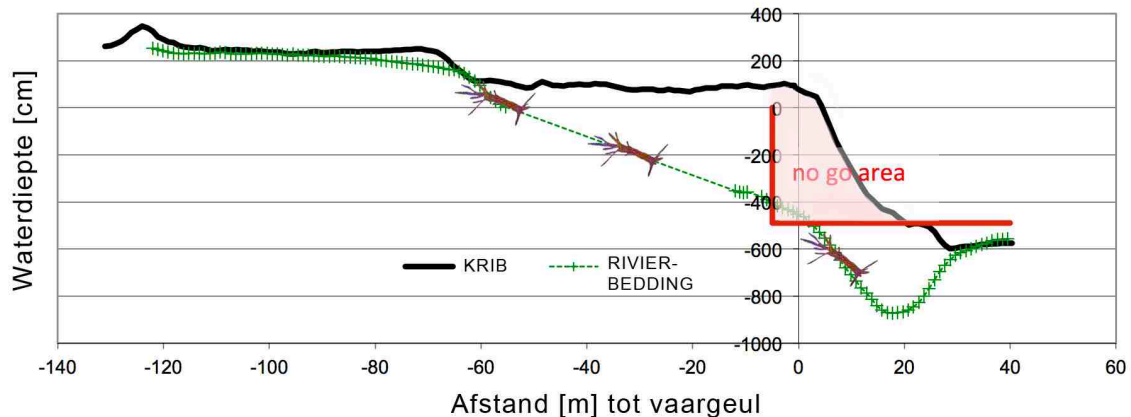
- Voorkeur voor stromend water (E);
- Boom niet verder in de vaarweg laten steken dan de kribvoet en niet boven het kribtalud uit laten steken (figuur 2). Voor de veiligheid rekening houden met uitzakken en onnauwkeurigheid;
- De oriëntering van de bomen moet per geval bepaald worden. In de pilot zijn verschillende oriëntatierichtingen toegepast. Voor ecologische meerwaarde is een oriëntering dwars of schuin op de stroomrichting gunstig omdat hiermee de morfologische effecten op de bodem het grootst zijn. Rivierkundig gezien is een ligging parallel aan de stroomrichting gunstiger omdat zo de stroming het minst belemmerd wordt. Aandachtspunt is dat de stroomrichting bij hoge afvoer, als de uiterwaarden meestromen (MHW), anders kan zijn dan bij lage afvoer als de rivier alleen in het zomerbed stroomt. Bij ligging in de stroomschaduw van een krib komt het minder nauw dan ligging in de stromende delen van de rivier en kan de boom ook onder een rechte hoek met de oeverlijn liggen (figuur 1);
- Takken richting stroomafwaarts, dan breken ze minder snel af (E,O);
- Ligging buiten de vaargeul (S);
- De totale hoogte van boom boven eventuele ballastelementen moet voldoende klein blijven om goed te kunnen passen binnen de rivierkundige ruimte (figuur 2).
- Ligging stam onder water, maar niet dieper dan 2 m i.v.m. lichtdoordringing die nodig is voor de ontwikkeling van bentische algen op het hout (E,D);
- Niet al te grote takken, die geen gevaar voor scheepvaart opleveren, mogen wel boven water uit steken, i.v.m. zichtbaarheid (S, O) en het uitsluipen en landen van insecten op de takken. (E);
- In een getijderivier moet het hout onder de gemiddelde waterstand aangebracht worden. Het is niet erg als deze dan periodiek droogvalt, hoewel dit de duurzaamheid vermindert. Daarom is het verstandig op deze locaties dikke bomen van een duurzame houtsoort te kiezen (b.v. eik) en deze locaties jaarlijks te inspecteren (E,S);



- Het heeft de voorkeur enkele (bijv. 3) bomen als een cluster bij elkaar te leggen en niet losse bomen ver van elkaar. Er ontstaat dan een robuustere eenheid voor natuur die ook sneller daadwerkelijk leidt tot variatie in substraat en stroming (E, D).



Figuur 1: Principeschets dood hout achter de vooroever nabij de krib. De boom ligt in de stroomschaduw van de krib.



Figuur 2: Dwarsdoorsnede door een kribvak (groene lijn), net achter de krib (zwarte lijn). Voor het plaatsen in het kribvak moet de boom vanuit scheepvaartveiligheid ofwel ver genoeg achter de normaallijn blijven (0), ofwel diep genoeg in de erosiekuil.

Transport

Omdat relatief grote bomen nodig zijn met de takken er nog aan, moet het transport van de bomen ook goed voorbereid worden. Een boom van ruim tien meter, met een stamdiameter van meer dan 40 cm, met kluit, weegt tussen de twee en drie ton. Dit kan betekenen dat het transport moet plaatsvinden met een vrachtwagen voor bijzonder transport (figuur 3). Bij het vervoer naar de rivierlocatie is ter plaatse ook een geschikte laad-losplaats nodig. Vervolgens kan het vervoer naar de rivierlocatie over water per kraanschip gebeuren of door de uiterwaard met rupskraan. In de pilot is hiervoor een 24 tons rupskraan gebruikt met een reikwijdte van 6,5 meter. In geval van een drassige oever kan het gebruik van rijplaten nodig zijn. Het heeft de voorkeur om bomen uit de directe omgeving te gebruiken, bijvoorbeeld als bomen door een project als Stroomlijn beschikbaar komen. Dit reduceert ook de kosten van het vervoer.



Foto 6: Gerooide eik wordt op transport gezet.

Hoe bevestigen?

Omdat de Nederlandse rivieren druk bevaren worden, en er kunstwerken als stuwen, sluizen en bruggen aanwezig zijn, is het belangrijk dat het dode hout niet op drift gaat bij hoogwater of dat er grote takken afbreken die schepen of kunstwerken kunnen beschadigen. Daarom moeten de bomen in de rivier goed verankerd worden. Hoe dichter de boom bij de vaargeul ligt, des te strenger zijn de eisen aan de verankering. Een boom in een nevengeul levert immers minder risico's op dan een boom in een onbeschermd kribvak op een bevaarbaar riviertraject. Afhankelijk van de eigenschappen van de locatie moet de meest geschikte bevestigingsmethode ontworpen worden. In de pilot dood hout zijn tot nu toe drie bevestigingsmethoden uitgetest. Hierbij is steeds gekozen voor overdimensionering van de benodigde trekkracht voor balken, schakels en kettingen: er is uitgegaan van een kracht van 10 ton, terwijl 5 ton naar verwachting voldoende is.

Hoewel alle drie de methoden geschikt zijn bevonden, gaat de voorkeur uit naar de eerste twee waarbij de bomen met kettingen aan stalen balken zijn bevestigd. Het is namelijk niet wenselijk om voor het aanbrengen van natuurlijk substraat (boom) tegelijk kunstmatig substraat (beton) te introduceren. De methode is hier toegepast om te kunnen testen wat het effect van bomen in de diepe erosiekuilen is, waar de stroomsnelheden naar verwachting hoger zijn. Waterschap Vallei en Veluwe heeft recent bomen in nieuwe nevengeulen langs de IJssel laten aanbrengen, waar helemaal geen verankering bij nodig was vanwege het beperkte risico op drift.

Methode 1) Bomen tussen H-profielen, verankerd met kettingen;

- Materiaal: stalen balken (HE 160A) van voldoende lengte (in de pilot: 6 m, onbehandeld);
- Intrillen met behulp van een trilblok aan de rupskraan (figuur 4);
- Voldoende diep in de bodem aanbrengen: 2/3 in de bodem, 1/3 in het water (houd rekening met evt. bodemerosie), tot 50 cm onder de waterlijn;
- Op locaties dicht bij de vaarweg of met veel stroming: 4 balken, op veiligere locaties (b.v. strang) zijn 2 balken voldoende;
- Door de boom worden twee stalen pennen diameter 2,8 cm geboord, die met schakels aan kettingen worden bevestigd en de ketting weer aan de stalen balken zodat de bomen niet kunnen wegdrijven (figuur 5);
- Als er enig risico is op aanvaring, dan geen stalen H-profielen gebruiken maar houten palen voor verankering (zie p.7).



Foto 7,8: Intrillen van stalen balk in kribvak bij Everdingen

Methode 2) Verankering met ketting op de oever

- Deze methode is geschikt als H-profielen de niet in de rivierbodem ingetrild kunnen worden, bijvoorbeeld in een vistrap die met stenen bekleed is.
- Ketting heeft een trekkracht van ruim tien ton.
- Bevestiging aan de boom: één ketting direct achter de kluit en één ketting bij de kroon.
- Bevestiging aan de boom: gat van drie cm dwars door de stam waardoor een stalen pin van 28 mm en 45 cm lang is bevestigd met een oog (figuur 5). Oog is vast gelast, de ketting kan hierdoor niet over de stam verschuiven. De ketting is met een verbindingsschalm met een trekkracht van tien ton verbonden aan de stalen balk op de oever.
- Bij de vistrap zijn de bomen aan twee stalen balken bevestigd, elk aan een kant van de oever. De afstand tussen de palen en de bomen is hier +/- 12 meter.



Figuur Foto 9,10: Stalen ketting door oog in de boom (links) en plaatsen boom in de vistrap bij Amerongen.

Methode 3) Verzwaren met ballast

- Deze methode is geschikt als de rivierbodem niet met een rupskraan bereikbaar is, bijvoorbeeld als het te diep is. [NB: Diepe locaties zijn vanuit ecologisch oogpunt minder geschikt voor het plaatsen van bomen, omdat de lichtdoordringing hier onvoldoende is.]
- In de pilot bij Wageningen zijn betonplaten gebruikt van 2 bij 3 meter en 28 cm dik. Het gewicht van deze plaat is +/- 3,9 ton;
- Met een veiligheidsmarge van 1.5 varieert het betonvolume van de ballastelementen 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 (figuur 7).



Figuur 11,12: Hijssoog en schakel met ketting gebruikt bij de bomen bij Wageningen

- De betonplaten en de bomen worden op een kraanschip naar de locatie gevaren;
- De bomen zijn met kettingen bevestigd aan de betonplaten (bevestiging en trekkracht > 10 ton);
- Door de betonplaat is een draadeind bevestigd met een borgmoer, aan de andere zijde zit een draaibaar hijssoog waar de ketting mee verbonden is;
- De betonplaten hebben nog twee extra hijsogen voor het afzinken van de betonplaten met de boom (figuur 6);
- Tijdens het afzinken een evenaar gebruiken om de boom in evenwicht te houden.
- Een nauwkeurige plaatsing kan worden bereikt door met twee bevestigingspunten de stam in de richting van de beoogde ligging te manoeuvreren, boom en ballast alvast enkele meters in het water te laten zakken en zo mogelijk het bevestigingspunt boven het diepste deel als laatste los te laten.



Figuur 13,14: Het afzinken van de bomen is precisiewerk: het is dan ook belangrijk dat de kraanmachinist ter plekke de diepte en de actuele plaats van het schip en de bomen in beeld heeft.

Bomen als riviercorrigerende maatregel

Bomen kunnen ook ingezet worden als natuurlijk materiaal om oevererosie te beperken. Zo zijn langs de Lek nabij Culemborg vier schermen aangebracht van boomstammen om de stroming meer naar het midden van de rivier te dirigeren, zodat de rivierbodem zie hier verdiept. Hierbij zijn analoog aan de reguliere rijshouten schermen (in de Lek bij Everdingen en de Nederrijn bij Wageningen) boomstammen als palen de bodem ingetrild waartussen boomstammen (zonder takken en wortels) zijn afgezonken. Deze bomen zijn aan elkaar verankerd met kettingen om eventueel wegdrijven te voorkomen. Bovenop is de constructie afgesloten met staaldraad.



Bijzonderheden:

- Bomen zonder takken en wortels i.v.m. stroomgeleidende constructie;
- Rechte boomsoorten gebruiken (in dit geval: Lariks, 30 cm diameter, 8,5 m lang); Houten palen (10 m) worden 8 m in de bodem getrild, waartussen de bomen aangebracht worden (houten palen zodat de schade aan vaartuigen i.g.v. aanvaring beperkt blijft);
- Aan boven- en benedenstroomse kant van het scherm is aan de kopse kant een extra boom geheid om de stammen goed op te sluiten: aan de kopse kanten worden de schermen dus met drie palen afgebakend;
- Voor de verankering van de bomen stalen verbindingen gebruiken;
- Vanwege directe ligging aan de vaarweg: vaarweg markeren in combinatie met recreatiebetonning;
- Bomen stroomafwaarts richten en afzonderlijke schermen niet te ver uit elkaar (minder dan de lengte van de boom);
- De boomstammen worden zo gestapeld dat er kieren blijven tussen de liggende boomstammen. Hiermee kunnen dwarskrachten op het scherm worden verminderd (en neemt de KRW-waarde vermoedelijk toe).

Overigens is de verwachting dat dergelijke stammen een lager ecologisch rendement zullen hebben dan bomen met wortels en takken. Monitoring moet dit nog uitwijzen.



Figuur 15: Aanleg bomenscherm met kraanschip bij Culemborg

Veiligheid

Belangrijk aandachtspunt bij het plaatsen van bomen in het water is de veiligheid voor scheepvaart en het voorkomen van opstuwing bij hoogwater. Scheepvaartveiligheid stelt dan ook in belangrijke mate de randvoorwaarden voor de wijze van verankering en de locatiekeuze. In toevoeging daarop kan bebording (verkeerstek) nodig zijn, in geval de bomen niet zichtbaar zijn boven water. Dit geldt ook voor locaties waar recreatievaart is.

Het plaatsen van de bomen moet dan ook in nauwe afstemming met het beheerdistrict en de nautisch adviseurs van Rijkswaterstaat plaatsvinden. Zo kan per geval bekeken worden welke locatie geschikt is en welke markeringen eventueel nodig zijn.

Kostenindicatie

De kosten zijn sterk afhankelijk van de situatie ter plaatse, zoals de toegankelijkheid van het gebied, de waterdiepte, het bevestigingsmateriaal, de beschikbaarheid van bomen en de afstand waarover ze getransporteerd moeten worden. Bijgaande kosteninschatting is gebaseerd op de reeds uitgevoerde pilotprojecten en moet als



een gemiddelde en globale indicatie voor de kostenraming beschouwd worden. Bij grotere hoeveelheden is kostenreductie mogelijk.

NB: Transportkosten kunnen hoog zijn en zijn afhankelijk van waar de bomen vandaan komen, of ze aan de weg liggen en of er een goede laad- en losplaats voor het kraanschip is. Daarom is het verstandig ook een post onvoorzien op te nemen.

- Uitgangspunt: boom (Eik) met stamdiameter minimaal 45 cm incl gehele kluit, lengte van de boom minimaal 12 meter;
- Materiaalkosten boom, rooien en met de rupskraan aan de weg klaarleggen met voor transport: ca. € 700,- per boom;
- Transport over de openbare weg met dieplader en kraan voor laden en lossen bij transport over 10 km: ca. € 200,- per boom;
- Vastzetten aan stalen profielen: 4 stalen HE 160A profielen met lasogen en gelaste weerhaken., per boom ca. € 700,-;
- Kosten vastzetten boom met 10 ton's ketting met verbindingsschalm en stalen pin met lasringen (incl. arbeid), ca. € 750,-;
- Rupskraan transport boom naar rivier, trillen 4 HE profielen, boom ertussen plaatsen, incl. vastzetten: ca. € 300,- per boom;
- Afzinken boom aan gewicht: Betonplaat gewicht 3 ton (2 betonplaten per boom) 2 betonplaten kosten geleverd op locatie € 550,-;
- 10 ton's ketting met draaibaar hijssoog, stalen pin met lasringen: € 700,- per boom;
- Kosten kraanschip incl arbeid per uur € 360,-.

Monitoring

De pilotprojecten in de Nederrijn en de Lek worden goed gemonitord: macrofauna en vis worden bemonsterd en de ligging van de bomen en de ontwikkeling van de rivierbodem wordt gevolgd. De resultaten na één jaar zijn bemoedigend: er komt meer macrofauna voor op de bomen dan op de stenen kribben. Om te weten of deze rijkdom zich na de kolonisatiefase handhaaft, wordt het onderzoek drie jaar voortgezet. De visgemeenschap bij de bomen is veel diverser. Bovendien zijn de exotische grondels die de kribvakken domineren in de minderheid bij de bomen. Voor de Kaderrichtlijn Water zijn dit positieve ontwikkelingen die bijdragen aan een betere ecologische kwaliteit.

Referenties

Dorenbosch, M., Bergsma, J. & Liefveld, W.M. 2014, Functie van dode bomen voor vis in de Lek. Ecologische monitoring visgemeenschap.

A.G. Klink, 2014. KRW-proef bomen in de Nederrijn-Lek. Evaluatie eerste onderzoekjaar 2014

Colofon

Projectteam Rivierhout Margriet Schoor (contactpersoon), Henk van Rheede, Arjan Sieben, Prisca Duijn, Luc Jans (allen RWS), Miguel Dionisio Pires (Deltares), Alexander Klink (Hydrobiologisch Adviesburo Klink), Wijnand Blaauwendraat (Blaauwendraat Landschapsverzorging), Wendy Liefveld (Bureau Waardenburg).

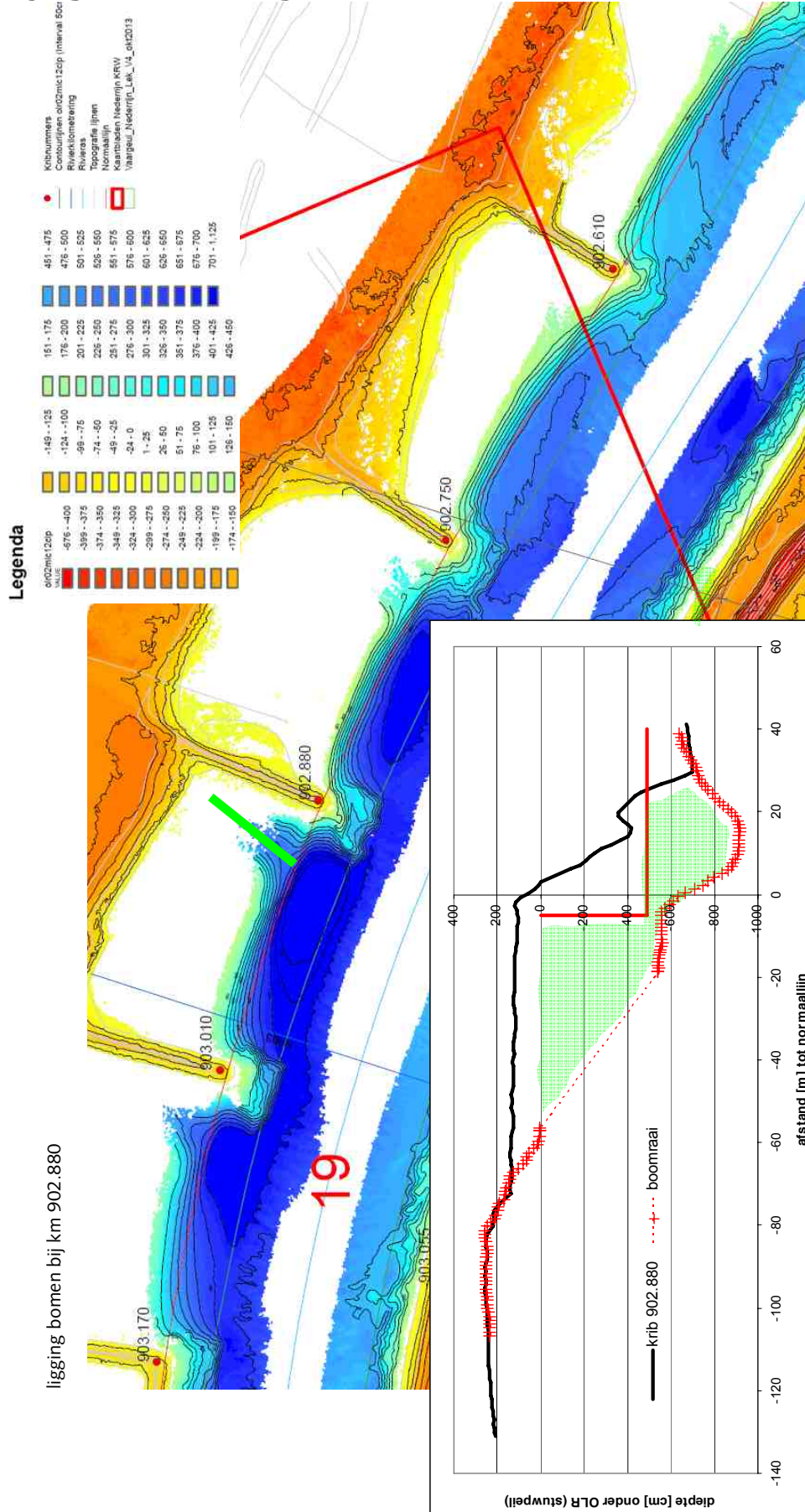
Auteur handout: Wendy Liefveld (Bureau Waardenburg)

Fotoverantwoording: Rijkswaterstaat: foto's 5,11,12,13,14, Hydrobiologisch Adviesburo Klink: foto 10, Bureau Waardenburg: foto's 1,2,3,4,5,6,8,9,15.

Versie: september 2015



Bijlage 1: selectie geschikte locaties bomen in erosiekuilen



Bijlage 11: Communicatie producten rivierhout

- Handreiking Rivierhout. Hoe, Waar en Waarom? (november 2015) *Toelichting op ontwerpaspecten voor uitvoerders.*
- Poster NCR-dagen (oktober 2014) (Engels) *Wetenschappelijke verantwoording project en eerste resultaten monitoring vis en macrofauna*
- Presentatie Reform rivers congres (30 juni – 2 juli 2015, Wageningen) (Engels) www.reformrivers.eu *Wetenschappelijke verantwoording project en resultaten monitoring vis en macrofauna*
- Presentatie Wood in world rivers congres (6 -10 juli 2015, Padua) (Engels) www.reformrivers.eu *Wetenschappelijke verantwoording project en resultaten monitoring macrofauna en vis*
- Poster presentatiedag 'Levende rivier' (29-11-2015) (Nederlands) *Toelichting op project en eerste resultaten monitoring vis en macrofauna voor breder publiek*