



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Deltares  
Enabling Delta Life 

# Praktische voorbeelden van sedimentsturing in de IJssel

Aanzet tot pilotprojecten op knelpunten



## Colofon

Dit is een product in het kader van het Corporate Innovatie Programma (CIP) van Rijkswaterstaat.

Januari 2013

## Auteurs

Ronald Roosjen, Erik Mosselman, Rutger van der Brugge (Deltares)

HermJan Barneveld, Paul Termes (HKV Lijn in Water)

## Vormgeving

Welmoed Jilderda (Deltares)

## Foto's

<https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat

Ronald Roosjen

Joyce Zuijdam

# Praktische voorbeelden van sedimentsturing in de IJssel

Aanzet tot pilotprojecten op knelpunten

# Inhoud

A young boy with blonde hair, wearing a blue jacket with white stripes on the sleeves, stands on a rocky shore. He is pointing his right hand towards a wide, calm river. In the distance, across the river, there is a construction site with an orange excavator and a tall chimney. The sky is overcast and grey.

<b>1</b>	<b>Inspiratieboek .....</b>	<b>4</b>
	Self Supporting Rivier Systeem 2021 .....	5
	Sedimentsturing .....	5
	Van idee naar pilot naar brede toepassing.....	6
<b>2</b>	<b>Verkennen SSRS pilots locaties .....</b>	<b>8</b>
	Karakteristieken van de IJssel.....	9
	Voorbeeldlocaties .....	9
	Soorten maatregelen .....	10
	Selectie voorbeeldlocaties .....	13
<b>3</b>	<b>Kansrijke SSRS-voorbeelden .....</b>	<b>16</b>
	Pilot Doesburg traject km 899 – km 900.....	17
	Pilot Doesburg traject km 901 – km 902.....	18
	Pilot Doesburg traject km 902 – km 903.....	19
	Pilot Zutphen traject km 934 – km 935.....	20
	Pilot Zutphen traject km 935 – km 936.....	21
	Pilot Zutphen traject km 936 – km 937.....	22
	Voorbeelden uit het buitenland .....	24
<b>4</b>	<b>Hoe verder? .....</b>	<b>26</b>
	Overzicht ideeën .....	27
	Uitwerking tot pilots .....	28
<b>5</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>29</b>

# Inspiratieboek

Voor u ligt een inspiratieboek voor aannemers en rivierbeheerders. Dit boek geeft voorbeelden van sedimentsturing die anders zijn dan traditioneel baggeren.

Rijkswaterstaat wil het concept Self Supporting Rivier Systeem (SSRS) verder ontwikkelen en in de praktijk toepassen. In het nieuwe prestatiecontract voor beheer en onderhoud van de IJsseldelta-Twentekanalen wordt de aannemer uitgedaagd actief op zoek te gaan naar verbeter- en investeringsvoorstellen voor sedimentbeheer. Het inspiratieboek kan hierbij als hulpbron dienen.

De verwachting is dat de verbeter- en investeringsvoorstellen zullen leiden tot:

- de aanleg van alternatieve geleidingsmaatregelen;
- monitoring en evaluaties daarvan;
- vervolgvorstellen die flexibel zijn toe te passen op locaties waar zich in de toekomst problemen gaan voordoen;
- leereffecten met betrekking tot het proces en de samenwerking met de markt.

Per maatregel zullen ook de besparingen (minder m<sup>3</sup> gebaggerd) en de baten (minder hinder voor de scheepvaart) geëvalueerd worden.

## Self Supporting Rivier Systeem 2021

Riviersystemen hebben een enorm potentieel aan kapitaal, denk aan de aanvoer van zoet water en sediment, en de beschikbare grond en biomassa in de uiterwaarden.

Binnen RWS Oost-Nederland wordt sinds 2010 gewerkt aan het concept Self Supporting Rivier Systeem (SSRS 2021). SSRS gaat uit van de potentie van het rivierengebied en zoekt voor rivierbeheer naar kansen om onderhoudskosten te voorkomen en winst te behalen.

SSRS heeft als doel meerwaardecreatie in de regio en 40 procent reductie van de beheerkosten in 2021. Het uiteindelijke resultaat is betaalbaar, betrouwbaar en duurzaam rivierbeheer. Duurzame veranderingen worden bereikt met: Benutten van waarden, slim samenwerken, 'Maintaining with nature' en nieuwe technieken.

Het rivierbeheer komt onder steeds grotere druk te staan. Enerzijds door de te verwachten toename van scheepvaartverkeer als klimaatvriendelijke transportwijze, anderzijds door de steeds nijpender problemen door de voortschrijdende insnijding van de Rijntakken als gevolg van de ingrepen uit het verleden. Een Self Supporting Rivier is de beste garantie dat het onderhoud ook op de lange termijn betaalbaar, betrouwbaar en duurzaam kan blijven. Deels is dat een teruggrijpen op oude waarden, traditioneel richtte het rivierbeheer zich op een aanleg en inrichting waarmee een rivier zichzelf kon onderhouden: "Self Supporting". Door gebruik te maken van de krachten van de natuur maakte men het beheer en onderhoud goedkoper. Het inzicht dat een dergelijke onderhoudsarme rivier de natuur in het rivierengebied verarmt en op termijn zelfs nieuwe problemen voor de bevaarbaarheid creëert, heeft in recente jaren geleid tot initiatieven om de natuur deels te herstellen en meer ruimte te geven: Ruimte voor de Rivier, Kaderrichtlijn Water, NURG. Deze initiatieven verhogen echter het baggerbezwaar.

## Sedimentsturing

De dynamiek van de rivier zorgt voor aan- en afvoer van sediment. Erosie en sedimentatie volgen elkaar op. Afhankelijk van de gewenste functies van de rivier kan het handig zijn in deze dynamiek in te grijpen. Belangrijk hierin is het vaargeulonderhoud: voldoende diepgang over voldoende breedte van de rivier. Destijds zijn de rivierregulatiewerken (kribben) aangelegd, onder andere voor dit doel. Grootschalige sedimentsturing zou je

### Maintaining with nature

In SSRS maken we de vertaalslag van het breed geaccepteerde concept van Building with Nature naar het beheer en onderhoud: Maintaining with Nature.

Building with Nature is gericht op het maken van de volgende stap in de waterbouw: van defensieve ontwerpmethoden die gericht zijn op het minimaliseren van negatieve effecten naar ontwerpmethoden en ontwerpen die zich richten op het maximaliseren van systeempotenties.

Bij Building with Nature worden veiligheid, natuurlijkheid, economisch potentieel, leefbaarheid en duurzaamheid met elkaar verenigd en versterkt.

Bij Maintaining with Nature maken we hiervan een vertaalslag en gebruiken we de krachten van de natuur om de rivier in de gewenste vorm te krijgen en te behouden. We gaan leren beheer en onderhoud te doen met de natuur, als vervolg op Building with Nature in plaats van bouwen met beperking van de gevolgen voor de natuur.

dit kunnen noemen. Lokaal ontstaan nog altijd veel ondieptes. De huidige praktijk is dat deze worden weggebaggerd. Dit is een altijd terugkerend proces, soms een aantal malen per jaar op dezelfde plek. In dit voorbeeldenboek beschouwen we concepten die de stroming dusdanig beïnvloeden dat deze ondiepten niet meer ontstaan.

Het sedimentbeheer van de vaargeul in de IJssel wordt nu, voor het eerst sinds jaren, structureel ondergebracht in het prestatiecontract. Tot nu toe werd eigenlijk alleen incidenteel bij grote knelpunten gebaggerd. Karakteristiek voor de IJssel is dat de rivier smal is en veel bochten heeft waardoor de aanwezigheid van baggermaterieel meer hinder voor de scheepvaart zal opleveren dan op bredere, rechttere rivierdelen. Daarnaast zullen de komende jaren langs de IJssel veel projecten worden uitgevoerd in het kader van Ruimte voor de Rivier en Kader Richtlijn Water. Hierbij worden nieuwe nevengeulen aangelegd, waardoor lokaal de waterverdeling zal wijzigen en dus ook de sedimentverdeling. Verwacht wordt dat dit met name veel extra inspanning zal vragen voor het instandhouden van de vaargeulbreedte en -diepte.

Door het principe van 'maintaining with nature' toe te passen bij vaargeulbeheer kan er een bijdrage geleverd worden aan:

- scheepvaartveiligheid door minder stremming
- natuurlijke bouwstoffen toepassen
- grondstoffen gescheiden winnen
- CO<sub>2</sub>-reductie
- technische innovaties in vaargeulbeheer die exportwaardig zijn



## Van idee naar pilot naar brede toepassing

Dit inspiratieboek geeft een aantal SSRS-voorbeelden van sedimentsturing. Deze relatief kleinschalige, ingrepen hebben de potentie om knelpunten (nautische ondieptes) op te lossen in de IJssel op een andere wijze dan het weg te baggeren. Voor alle voorbeelden geldt dat ze ter inspiratie zijn. We nodigen aannemers en rivierbeheerders dan ook uit om, geïnspireerd door deze voorbeelden, met andere oplossingen, verbeterde constructies, of ander materiaalgebruik te komen. De verwachting is dat door de samenkomst van rivierkundige kennis en praktische uitvoeringservaring (binnen- en buitenland) de beste oplossingen gaan ontstaan.

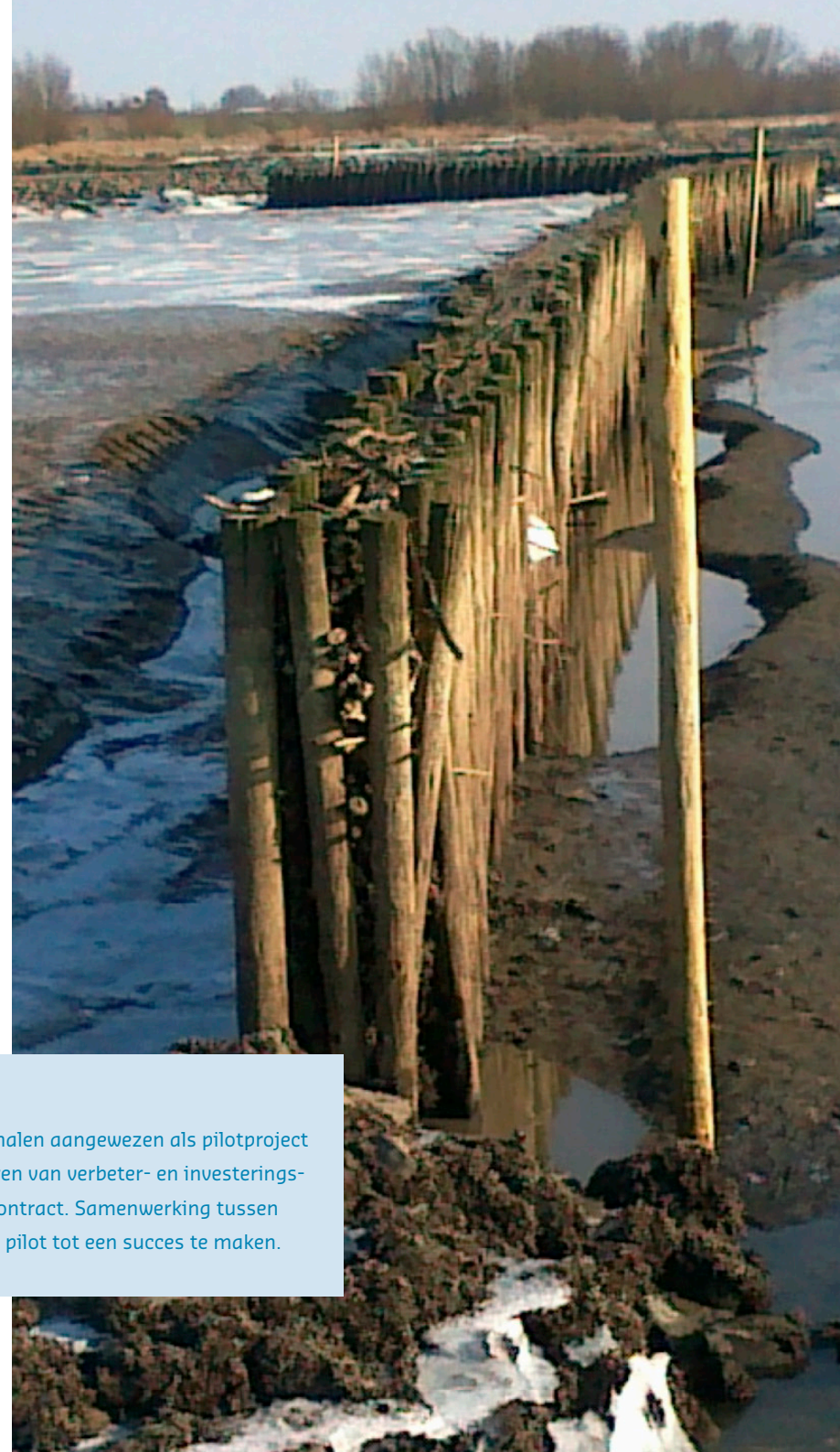
Het identificeren van geschikte trajecten en maatregelen voor sedimentbeheer langs de IJssel voor het pilotproject 'Self Supporting Rivier Systemen' is door HKV LIJN IN WATER samen met Deltares en RWS Oost Nederland uitgevoerd.

In dit inspiratieboek zijn mogelijke locaties aangegeven langs de IJssel die zich lenen voor een verbeter- of investeringsvoorstel.

Schetsen tonen hoe de zelfregulerende maatregelen eruit zouden kunnen zien. De werking van deze maatregelen is met eenvoudige rekenregels en expert judgement geschat.

### Prestatiecontract IJsseldelta-Twentekanalen als pilot

Binnen Rijkswaterstaat is het prestatiecontract voor de IJsseldelta-Twentekanalen aangewezen als pilotproject voor SSRS. Het is de bedoeling om ervaring op te doen met het actief stimuleren van verbeter- en investeringsvoorstellen en met de concrete uitwerking en toepassing daarvan binnen het contract. Samenwerking tussen aannemer, kennisinstituut Deltares en RWS Oost-Nederland is nodig om deze pilot tot een succes te maken.



# Verkennen SSRS pilots locaties



**De IJssel wordt gezien als een lastig te bevaren vaarweg, o.a. omdat de rivier zeer bochtig is. Hierdoor ontstaan op vele plaatsen karakteristieke rivierbochtprofielen, met een diepe buitenbocht en ondiepe binnenbocht. De bevaarbare breedte wordt daardoor beperkt.**

## Karakteristieken van de IJssel

De Gelderse IJssel is een belangrijke route in het goederenvervoer en heeft als streefbeeld hoofdvaarweg klasse Va (Nationaal Verkeer en Vervoer Plan, NVVP). Dat wil zeggen, dat schepen van ca. 3000 ton, met een lengte van 110 m en een breedte van 11,40 m moeten kunnen varen met een diepgang van minstens 2,50 m bij Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR). De afmeting van de IJssel voldoet echter zelfs niet aan de minimale eis voor een hoofdvaarweg, namelijk klasse IV (schepen tot 1500 ton). Klasse IV is de minimale eis voor een hoofdvaarweg. Dit speelt vooral op de smalle en bochtige Boven-IJssel (traject IJsselkop – Zutphen), waar zich de meeste scheepsbewegingen afspelen. Regelmatig komen er situaties voor waarbij slechts een maximale diepte van 2,20 m beschikbaar is. Begin december 2011 was de diepgang op de IJssel zelfs nog minder, waardoor een tanker van 1000 ton bij Olst vastliep en de scheepvaart stillegde. In deze laagwaterperiode was de laagste afvoer bij Lobith  $789 \text{ m}^3/\text{s}$ , belangrijk lager dan de Overeengekomen Lage Afvoer van  $1.020 \text{ m}^3/\text{s}$  bij Lobith, die hoort bij OLR.

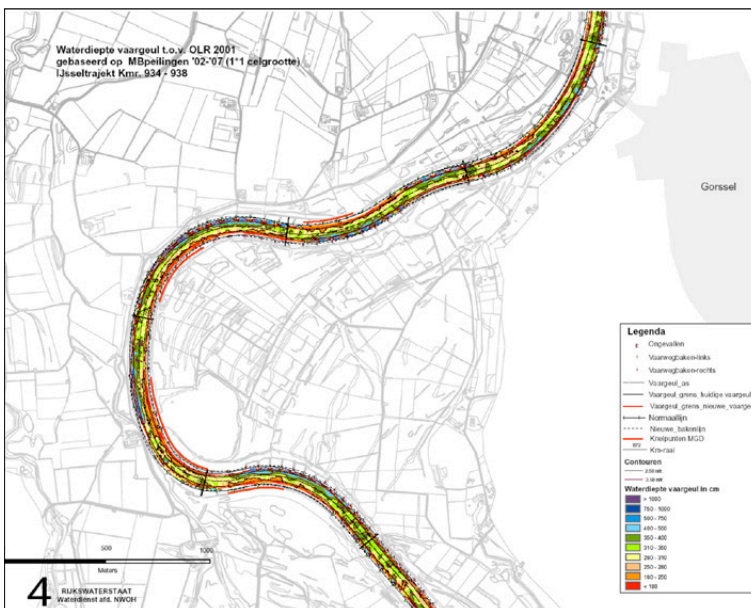
Tussen de bochten spreekt men van crossings, waar de bodem vlak en de diepte voor de scheepvaart beperkt is. Ook zijn er vele plaatsen waar de breedte van de rivier plotseling wat groter wordt (bijvoorbeeld bij de monding van zijrivieren, kanalen en havens). De stroomsnelheden nemen hier wat af, waardoor sediment neerslaat en een ondiepte kan veroorzaken. Tenslotte zijn er vele kribben in de IJssel aangelegd. Lokaal kunnen hierdoor erosiekuilen ontstaan en sedimentatiegebieden (zogenaamde kribvlammen). Bovenstaande verschijnselen beperken de vaarwegafmetingen, waardoor schepen in bepaalde perioden slechts met een beperkte diepgang (en dus lading) kunnen varen. Doorgaans worden de scheepvaartknelpunten op de IJssel opgelost door ondieptes weg te baggeren.

## Voorbeeldlocaties

Het verkennen van probleemlocaties langs de IJssel is gedaan op basis van dieptekaarten van de jaren 2002, 2006 en 2010. Op die kaarten is de bodemligging ingetekend ten opzichte van OLR, samen met de vaargeul. Gekeken is naar locaties met ondieptes in de vaargeul. Het criterium daarbij is een diepte die kleiner is dan 2,5 m à 2,7 m of minder. Op de kaarten is dat in oranje aangegeven (rood is een diepte tussen 2,3 m en 2,5 m). Een voorbeeld van een dieptekaart is gegeven in Figuur 2 1. Naast de kaarten met de waterdiepte per jaar is ook gebruik gemaakt van kaarten die de gemiddelde waterdiepte onder OLR aangeven, gebaseerd op peilingen uit de jaren 2002-2007. In die kaarten (voor een voorbeeld zie Figuur 2 2) is ook aangegeven waar in het verleden de Minst Gepeilde Diepte (MGD) is opgetreden, een indicatie voor een scheepvaartknelpunt.



Figuur 2.1 Dieptekaart traject rond Zutphen, bodemligging 2002



Figuur 2.2 Dieptekaart traject rond Zutphen, bodemligging 2002-2007

De voorbeeldlocaties voor dit inspiratieboek zijn gekozen op basis van een aantal criteria:

1. verschillende typen knelpunten, met verschillende soorten mogelijke oplossingen;
2. het moet een bestaand knelpunt zijn, er moet direct een probleem opgelost worden, zodat er ook direct zichtbare baten zijn;
3. geen locaties waar in het kader van Ruimte voor de Rivier nog maatregelen genomen gaan worden (want dan is het effect van een ingreep niet te bepalen);
4. geen locaties waar in het kader van KRW maatregelen oevers aangepast worden (want dan is het effect van een ingreep niet te bepalen).

## 2.3 Soorten maatregelen

Er zijn verschillende soorten maatregelen, die een bepaald type invloed op de rivierstroming of -geometrie hebben. Uitgesplitst op basis van de werking zijn dit:

- Geleiden van de stroming (afsluiten kribvak of vernauwen hoofdgeul). Daaronder vallen bijvoorbeeld:
  - palenrijen;
  - wilgenschermen.
- Beïnvloeden van het dwarsprofiel (vernauwen of verondiepen hoofdgeul), bijvoorbeeld door:
  - palenrijen;
  - wilgenschermen;
  - big bags gevuld met sediment;
  - erosiebestendig sediment.
- Verhogen van de turbulentiegraad van de stroming (lokaal opwekken bodemerrosie, bijvoorbeeld door
  - boomstronken.

De mogelijke maatregelen worden hieronder verder toegelicht.

### Palenrijen

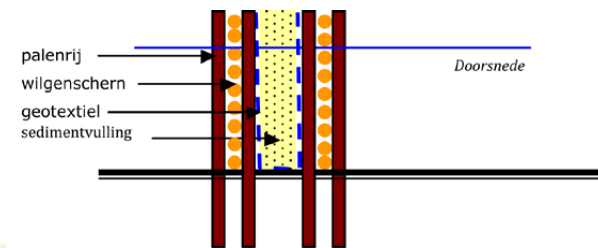
Doorlaatbare palenrijen zijn toegepast om kribvakken gedeeltelijk af te sluiten, zie voorbeeld in Figuur 2.3. Een voordeel van het afsluiten van een kribvak is het minder verwijden van de hoofdstroom en dus is de stroming meer in de diepere geul geconcentreerd. De palen kunnen zwaar belast worden door scheepsgolven, niet zo zeer door de stroming aangezien ze in het kribvak staan. De afstand tussen de palen bepaalt de effectiviteit van een palenscherm (dicht op elkaar sluit een rij de stroming af, ver van elkaar heeft een rij weinig effect op de stroming, alleen de lokale turbulentie wordt verhoogd). Een praktijkproef in de Waal was weinig succesvol (zie Tank en Kok, 1998), de palenrij is naderhand weer verwijderd. Maar dat neemt niet weg dat een ander ontwerp op een andere locatie wel kansrijk kan zijn.

### Wilgenschermen

Wilgenschermen worden opgebouwd uit palen met daartussen gevlochten wilgentakken, zie voorbeeld in Figuur 2.4. De takken worden vastgezet met staaldraad. Eventueel twee parallelle schermen 1 m uit elkaar plaatsen en de tussenruimte opvullen met sediment. Om uitspoelen te voorkomen kan geotextiel worden gebruikt. Een scherm werkt in principe hetzelfde als een palenrij met dicht op elkaar staande palen. Waar bij een palenrij nog uitwisseling van water door de rij mogelijk is, is die uitwisseling bij een wilgenscherm nihil. Een wilgenscherm geleidt de stroming derhalve nog beter dan een palenrij. Een wilgenscherm kan ook als 'plaat' voor een kribkop worden gebruikt.



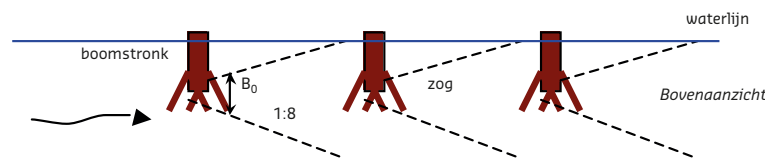
Figuur 2.3 Voorbeeld van een palenrij die een kribvak nabij Ewijk gedeeltelijk afsluit



Figuur 2.4 Voorbeeld van een wilgenscherm in een kribvak nabij Ewijk

## Boomstronken

Verankerde boomstronken kunnen turbulente stroming opwekken waarmee lokaal de bodem erodeert, zie een voorbeeld in Figuur 2.5. Door op enige afstand van elkaar boomstronken neer te leggen kan de extra turbulentie worden versterkt of in ieder geval over een grotere stroomafwaartse afstand werken. Het idee is dat achter een boomstronk een turbulent zog ontstaat dat onder een hoek van ongeveer 1:8 verwijdt.

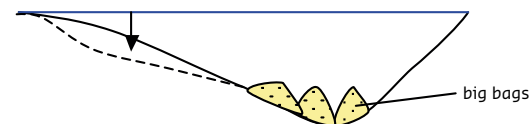


Figuur 2.5 Voorbeeld van boomstronken in de Overijsselsche Vecht

De breedte van het zog net achter de boomstronk  $B_0$  wordt geschat op de helft van de lengte van de boomstronk die zich onder water bevindt. Het effect van de stroomvertraging en -versnelling neemt lineair<sup>1</sup> af met de afstand, dus na  $2 \cdot B_0$  is het snelheidsverschil gehalveerd. De turbulente intensiteit in hoofdstroomrichting in het zog is ongeveer 20% van de gemiddelde stroomsnelheid. Voor de turbulente intensiteit loodrecht op de hoofdstroomrichting is dat ongeveer 15% van de gemiddelde stroomsnelheid. Om de turbulentiegraad redelijk op peil te houden wordt de afstand tussen twee boomstronken gesteld op minstens 3 maal de zogbreedte  $B_0$ . Enige voorbeelden van toepassing en effecten van bomen in watergangen zijn te vinden in NLWKN (2009), Kail et al (2007), Kail (2003), Shields et al (2001), en Gerhard en Reich (2000).

## Big bags gevuld met sediment

Diepe buitenbochten kunnen worden verondiept om de ondiepe binnenbocht te laten eroderen. Opvullen van de diepe buitenbocht kan met big bags gevuld met lokaal sediment van de binnenbocht. De spiraalstroming in de bocht verandert door de wijziging in de vorm van het dwarsprofiel. Het effect van de buitenbocht verondieping werkt verder benedenstrooms door over enige afstand.



Nadeel van deze maatregel is dat het materiaal van de big bags een soort geotextiel is. Als een schip een big bag beschadigt, kan het textiel in de schroef komen en schade aan de schroef veroorzaken.

### Erosiebestendig sediment

Er is in het laboratorium geëxperimenteerd met ecologisch grout (kalk neerslag) om loskorrelig sediment te binden, zie voorbeeld in Figuur 2.6. Daarmee neemt de erosiebestendigheid van het sediment toe. Zie Deltares (2011) voor details en resultaten. In situ tests met ecologisch grout hebben de praktische werking in het veld nog niet voldoende aangetoond. Wel is er met succes ervaring op gedaan met cement of waterglas als bindmiddel.

Naast ecologisch grout kan ook klei of verkleefd materiaal worden gebruikt om de erosiebestendigheid van de bodem te vergroten.

Deze technieken kunnen mogelijk ingezet worden voor verbetervoorstellen om lokale knelpunten op te lossen, eventueel in combinatie met andere concepten.

### Selectie voorbeeldlocaties

Op de kaarten is gezocht naar ondieptes die (mogelijk) knelpunten zijn voor de scheepvaart langs trajecten die aan de genoemde eisen voldoen. Voor de voorbeelden zijn drie locaties gehanteerd waarin de verschillende ideeën een logische plek krijgen:

- cluster Doesburg tussen km 899 en km 903;
- cluster Zutphen tussen km 931 en km 937;
- cluster Zwolle tussen km 981 en km 987.

De locaties binnen deze trajecten zijn geïdentificeerd en ideeën voor mogelijke maatregelen zijn hieronder gegeven.

<sup>1</sup> Informatie in deze alinea op basis van formules in hydrocompendium van WLcombineren met de meerwaardescan, Rijkswaterstaat 2011.



Figuur 2.6 Voorbeeld van sediment versterkt met Eco grout

In cluster Doesburg zijn drie kansrijke trajecten geïdentificeerd:

- a. Km 899.8, zie Figuur 2.7: Hier ligt een ondiepte langs de linkeroever. Hierna ligt een bocht naar rechts. Langs beide oevers liggen korte kribben, verder benedenstrooms (na km 900.5) zijn de oevers gestrekt. Door de kribben iets te verlengen of de stroom iets te geleiden met een geleidescherm kan deze ondiepte worden verdiept.
- b. Km 901.8, zie Figuur 2.8: Ter plaatse van de instroom van de oude IJssel verbreedt de rivier zich, waardoor de stroomsnelheid afneemt en sediment neerslaat in de binnenbocht. Lokaal opwekken van extra turbulentie met schermen of boomstammen kan de aanzanding ter plekke laten afnemen.

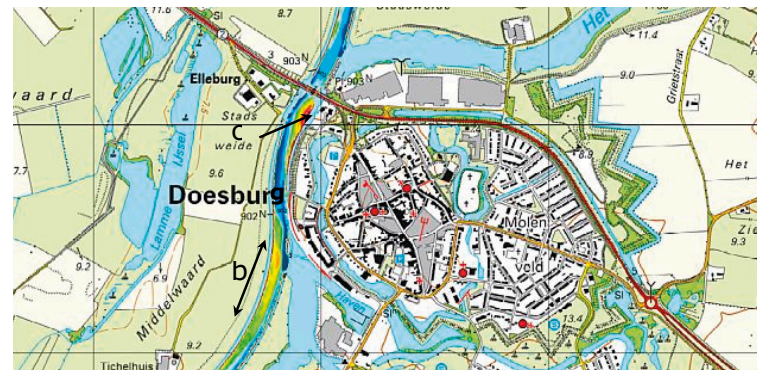
- c. Km 902.8, zie Figuur 2 8: Hier verbreedt de rivier zich lokaal net bovenstrooms van de brug waar een scheepshelling ligt. Vernauwen van de rivier met schermen of een aangepaste krib kan de ondiepte beperken.

In cluster Zutphen zijn drie kansrijke trajecten geïdentificeerd:

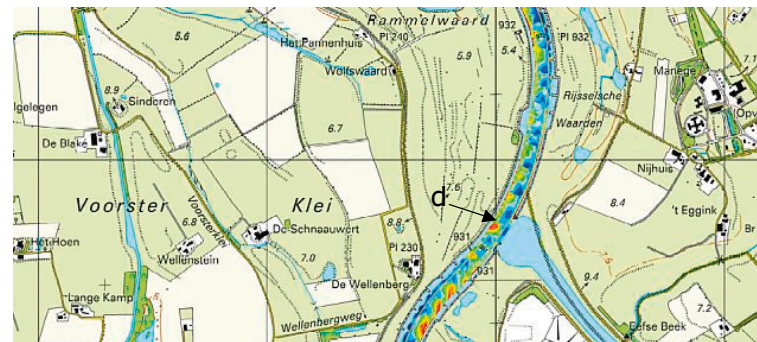
- d. Km 931, Figuur 2 9: De aansluiting van het Twentekanaal op de IJssel. Langs de linkeroever tegenover de invaart ligt een ondiepte die zich tot over het midden van de rivier uitstrekt. Aanpassing van de stroming om de ondiepte te verminderen bijvoorbeeld door een korte krib, geleidescherm of baggeren.
- e. Km 934.7 - 934.9, zie Figuur 2 10: Ondiepte langs de binnenbocht. Langs de kribben in de buitenbocht kunnen schermen worden geplaatst om de kribkop uit de stroom te houden. Dat beperkt naar verwachting de ondieptes langs de linkeroever. Eventueel een semi vaste laag in de buitenbocht waardoor de ondiepte langs de binnenbocht vermindert. Doorwerking verder benedenstrooms waardoor de ondiepte in de volgende binnenbocht (km 935 - 935.7) mogelijk ook vermindert. De bodemkribben zouden big bags met zand kunnen zijn, gecombineerd met wilgentenen vlechtwerk om erosie eromheen tegen te gaan.
- f. Km 936.1 - 936.5, zie Figuur 2 10: Hier bevinden zich zogenaamde kribvlammen: vlak achter de kribkop bevinden zich erosiekuilen, daarachter ontstaan ondieptes die zich tot het midden van de rivier uitstrekken. Hier met geleideschermen een langsdam maken over een lengte van 2 á 3 kribvakken.



Figuur 2.7 Pilottraject a bij Doesburg



Figuur 2.8 Pilottraject b en c bij Doesburg



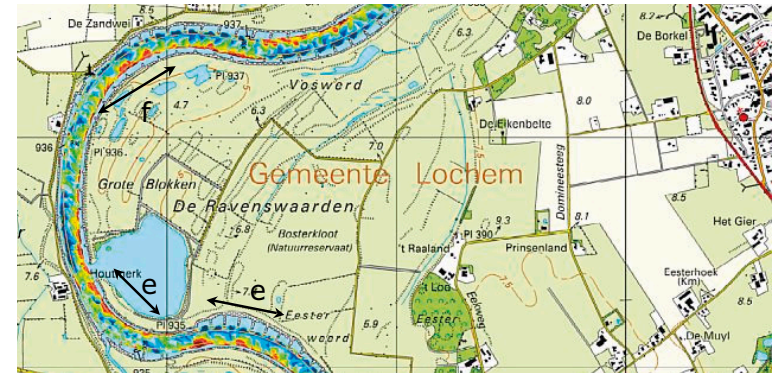
Figuur 2.9 Pilottraject d bij Zutphen



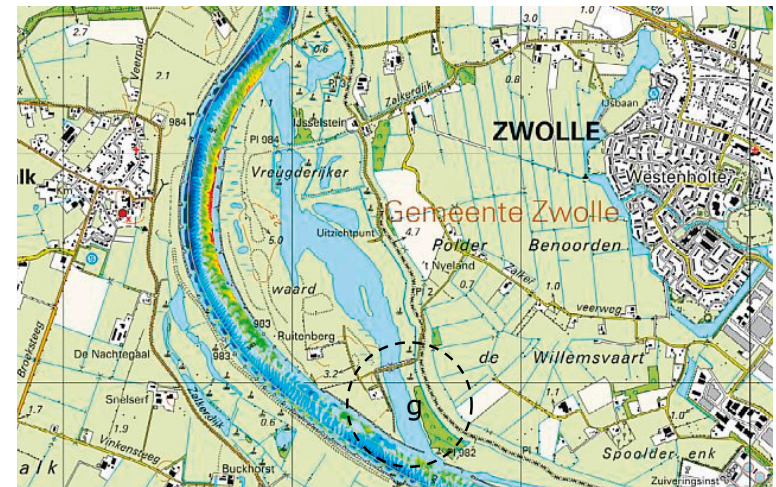
In cluster Zwolle is één kansrijk traject geïdentificeerd:

- g. Nabij Westenholte rond km 982 takt een nevengeul op de rechteroever af van de IJssel. De eerste 300 meter van de nevengeul staat in open verbinding met de rivier, daarna ligt er een dammetje met duikers. De nevengeul stroomt altijd mee. Dit is niet direct een knelpunt, maar op termijn kan de nevengeul, na een flink aantal hoogwaters, aanzanden. De ingang van de nevengeul (de eerste 300 meter tot het dammetje), zal als eerste aanzanden. Na verloop van tijd zal de aanzanding het dammetje naderen, en het sediment zal door de duikers getransporteerd worden, waarna de hele geul verder verzandt. Om dit te voorkomen wordt voorgesteld een zandvang aan te leggen (een verdieping in de eerste 300 meter in open verbinding). Al het aangevoerde zand zal hier neerslaan. Na een paar jaar kan dit zand dan gebaggerd worden en gebruikt of verkocht worden. De aanstroomgeul is ecologisch waardevol (Schoor et al., 2011) en de sedimentatiesnelheid van de geulen achter de dam is waarschijnlijk erg gering zodat de noodzaak van een zandvang sterk wordt betwijfeld. Een zandvang op deze locatie nabij Zwolle is derhalve niet verder uitgewerkt.

Deze locatie valt samen met het Ruimte voor de Rivier project Westenholte, dus deze oplossing zal niet voor deze locatie gebruikt kunnen worden, maar is ter inspiratie opgenomen, voor eventueel andere locaties.



Figuur 2.10 Pilottraject e en f bij Zutphen



Figuur 2.11 Pilottraject g bij Zwolle

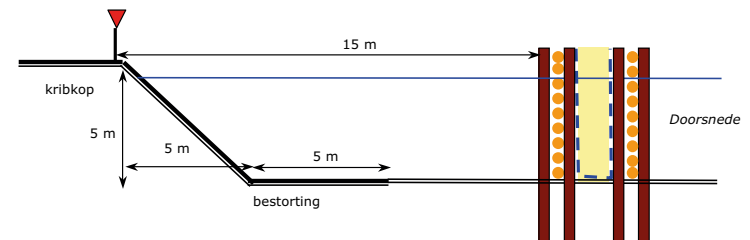
# Kansrijke SSRS-voorbeelden

Om het inspiratieboek zo concreet mogelijk te maken, is een aantal voorbeelden verder uitgewerkt. Per locatie is bekeken welk type maatregel en welk materiaal daar geschikt zou zijn om de vaargeuldiepte en -breedte te verruimen. De afmetingen van de maatregel zijn in het pilottraject geschetst samen met de geschetste vorm en afmetingen van de maatregel. De verwachte hydraulische/morfologische werking van de maatregel is ook aangegeven. De hier vermelde afmetingen en effecten zijn ingeschat op basis van expert judgement en kunnen niet zonder meer worden overgenomen. Zij moeten gezien worden binnen de context van dit inspiratieboek.

## Pilot Doesburg traject km 899 – km 900

In dit traject bevindt zich een ondiepte (pointbar) in de vaargeul langs binnenbocht. Langs de oever liggen korte kribben. Het idee is om voor de kribben in de binnenbocht langs, een wilgenscherm te plaatsen over een afstand van 5 kribvakken tussen km 899.2 en km 899.65, zie Figuur 3.2. Het wilgenscherm is dubbel en bestaat uit twee schermen die 1 m uit elkaar staan, zoals geschetst in Figuur 2.4. De tussenruimte is gevuld met sediment eventueel beschermd tegen uitspoelen door geotextiel. Om de zanddichtheid van de wilgenschermen te testen kunnen bijvoorbeeld de schermen in de eerste drie kribvakken met geotextiel worden uitgevoerd en de laatste twee schermen zonder.

Het scherm loopt voor de kribboppen langs, buiten de bodemverdediging van de kribben over een lengte van 450 m. De hoogte van de kribben is geschat op 5 m boven de bodem en het talud van de kribkop 45°. De bodembestorting voor de kribkop loopt tot 5 m uit de onderzijde van het talud door. Het scherm loopt 15 m uit het kribbaken voor de kribben langs. Dan is er nog voldoende afstand tussen het wilgenscherm en de linker vaargeulbegrenzing.



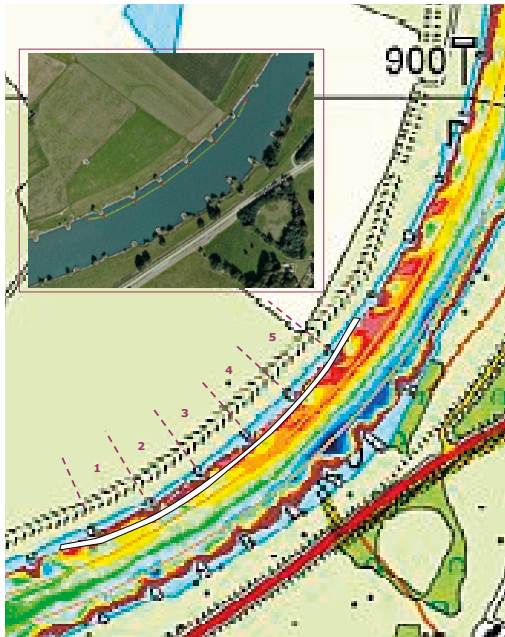
Figuur 3.1 Detail van dubbel wilgenscherm voor de kribboppen langs

Het verwachte effect van de maatregel is dat lokaal de effectieve rivierbreedte met circa 15% vermindert, van  $B_0 = 90$  m tussen de kribboppen tot  $B_1 = 75$  m tussen het scherm en de kribboppen langs de rechteroever. Het gevolg is dat het doorstroomprofiel initieel kleiner wordt hetgeen tot hogere gemiddelde stroomsnelheden  $u$  leidt. Op de lange termijn zal de sedimenttransportcapaciteit ( $S \sim B \cdot u^b$ ) zich herstellen en uitgaande van een onveranderde afvoer ( $Q_0 = Q_1$ ) en hydraulische ruwheid ( $C_0 = C_1$ ) is de waterdiepteverandering,

$$\Delta h = h_0 \cdot \left[ \left( B_0 / B_1 \right)^{(b-1)/b} - 1 \right]$$

en verhang-verandering  $\Delta i = i_0 \cdot \left[ \left( C_0 / C_1 \right)^2 \cdot \left( B_0 / B_1 \right)^{(3-b)/b} - 1 \right]$

Met de macht in de transportvergelijking  $b = 5$  en effectieve waterdiepte  $h_0 = 5$  m, is de gemiddelde dieptevergroting en dus bodemdaling circa 0,75 m over de 450 m. Het verhang wordt 7% minder stijl over het traject. De verhangverandering bouwt zich op over 450 m en zal vervolgens weer uitdempen. Verwacht wordt dat het effect van de verhangverandering zeer gering is.



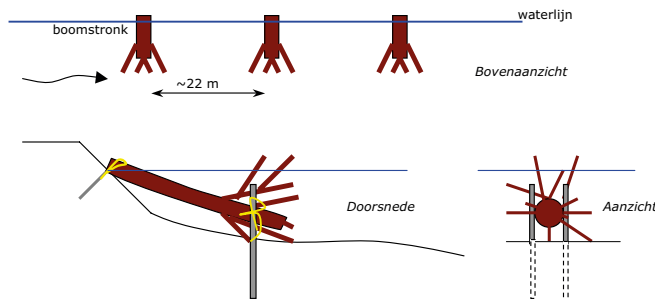
Figuur 3.2 Pilottraject Doesburg km 899 – km 900



## Pilot Doesburg traject km 901 – km 902

Ruwheidelementen (boomstammen) langs de binnenbocht tussen km 901.7 en km 901.9 tegenover de instroming van de Oude IJssel in de IJssel. Op die locatie ligt een ondiepte door de profielverwijding. Met behulp van boomstammen wordt extra turbulente stroming opgewekt die bodemmateriaal opwervelt en zodoende bodemverlaging oplevert, zie Figuur 3 4. Het opgewerkte bodemmateriaal wordt benedenstreams in het diepere traject afgezet, is de veronderstelling.

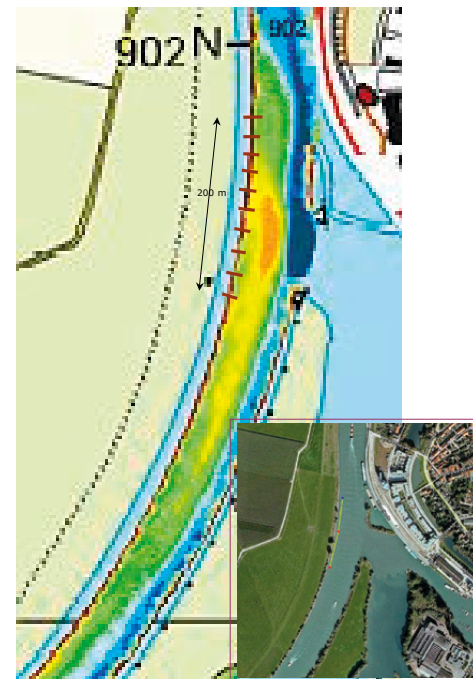
Gedacht wordt aan 10 boomstronken met takken die dwars op de rivieras worden gelegd vanaf de linkeroever over een afstand van 200 m. De tussenruimte tussen de bomen is dan 22 m. De boomstronken worden vastgezet met palen en kettingen of met kabels, zoals geschetst in Figuur 3 3.



Figuur 3.3 Schets van bevestiging boomstronken langs de linkeroever bij Doesburg

De boomstammen wekken turbulente stroming op, maar vernauwen de doorsnede ook enigszins. Stel dat de vernauwing 5% van de huidige breedte is, dan is de te verwachten gemiddelde bodemdaling op de lange termijn, zoals berekend in paragraaf 3.1, ongeveer 5% van de huidige waterdiepte. De gemiddelde bodem-

verlaging is dan 0,25 m. Hier geldt dat de maatregel over een korte afstand van 200 m nog niet volledig is ontwikkeld. De turbulente stroming van een boomstronk verwijdt en wordt versterkt door de volgende boomstronk etc. Een gemiddelde bodemverandering van 0,05 à 0,1 m wordt verwacht. Door de opgewekte turbulentie wordt bodemmateriaal extra opgewerkeld, waardoor meer dan de geschatte 0,05 m à 0,1 m bodemverlaging zal optreden, globaal geschat 0,1 m à 0,15 m. Verwacht wordt dat het opgewerkte bodemmateriaal in de volgende 200 m tot 300 m weer wordt afgezet.



Figuur 3.4 Pilottraject Doesburg km 901 – km 902

## Pilot Doesburg traject km 902 – km 903

Net bovenstrooms van de brug over de IJssel ligt een scheepswerf met hellingen langs de rechteroever in een buitenbocht tussen km 902.6 en km 902.9. Voor de werf ligt een ondiepte, zie Figuur 3.6. Met het plaatsen van een wilgenscherm over een lengte van 50 m vanaf de benedenstroomse zijde van het werfterrein wordt de rivier lokaal versmald. Het scherm zou langer moeten zijn voor meer effect, maar de sloopshellingen moeten kunnen worden gebruikt waardoor de trajectlengte beperkt is.

Hier wordt gedacht aan een enkelvoudig wilgenscherm, zie Figuur 3.5. Golven van passerende schepen belasten het scherm, maar het water achter het scherm is niet afgesloten van de rivier zodat golven ook achter het scherm doordringen en het verval over het scherm beperkt zal zijn. Dit is, gezien de beperkte scherm lengte en situatie, een geschikte locatie om de sterkte van een enkelvoudig wilgenscherm te onderzoeken.

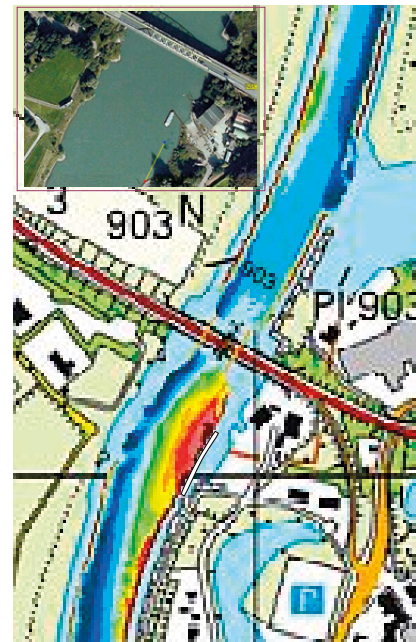


Figuur 3.5 Enkelvoudig wilgenscherm tussen houten palen

Door de versmalling van de rivier zal er profielverruiming, dus bodemverlaging, optreden. Gezien de beperkte lengte van de maatregel wordt circa 0,05 m bodemdaling verwacht ter plaatse van het scherm.

### Opmerking:

Gezien de foto's ligt ter plaatse van het scherm een sloopshelling. Als die nog in gebruik is kan het scherm niet worden geplaatst. Verder benedenstrooms plaatsen van het scherm heeft geen effect op de ondiepte in het traject waar het scherm nu is geplaatst.

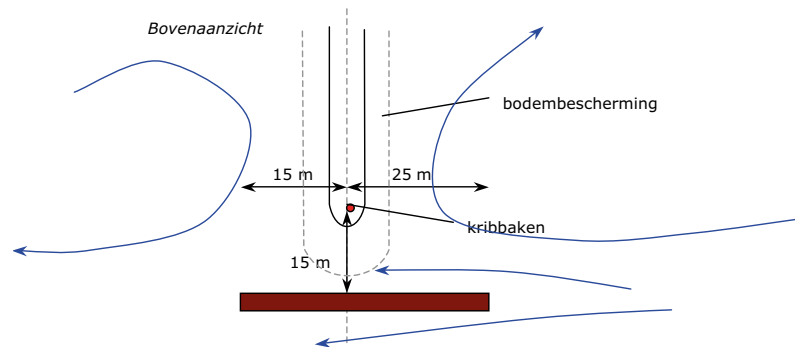


Figuur 3.6 Pilottraject Doesburg km 902 – km 903

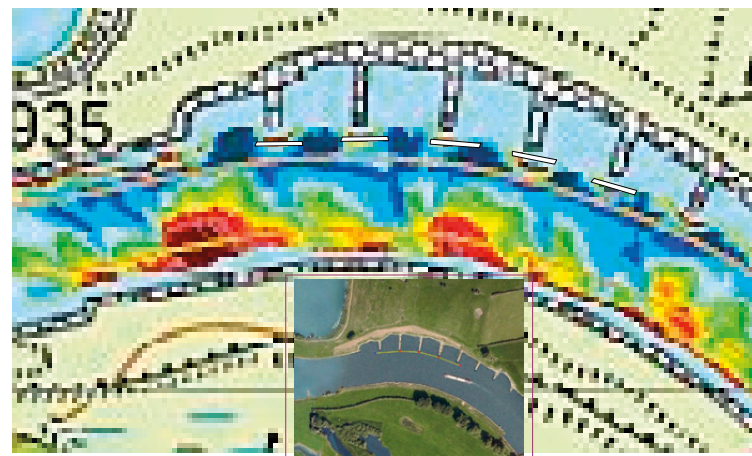
## Pilot Zutphen traject km 934 – km 935

In de buitenbocht tussen km 934.6 en km 934.9 bij Zutphen liggen enkele relatief lange kribben. Bij de kribkoppen zijn erosiekuilen ontstaan en tegenover de kribben (aan de andere zijde van de rivier) liggen lokale ondieptes. Dit is een gevolg van de kribben. De stroming rond de kribkoppen laat turbulente wervelstraten ontstaan die de erosie en sedimentatie domineren. Met het verminderen van de turbulente wervelstraten kan dit het erosie/sedimentatiepatroon beïnvloeden. Met een gestroomlijnde kribkop wordt minder erosie en dus ook minder sedimentatie verwacht. In het traject zijn 5 kribben uitgekozen, waar over een lengte van 250 m wilgenschermen worden geplaatst, zie Figuur 3.8. Het idee is onderzocht in Sieben (2009). Uit dat onderzoek bleek dat een recht scherm met een lengte van ongeveer de kriblengte goede resultaten opleverde. De werking van de schermen is uitgelegd in Sieben (2009). Met name de wervelstraat, die door de kribkoppen wordt veroorzaakt, wordt beperkt. De schermen beïnvloeden de stroming in de kribvakken op slechts geringe wijze. De bodemverlaging in de uitgevoerde proeven op de Waal bedroeg 0,2 m à 0,25 m, deze verlaging werkte vanuit het scherm tot ongeveer 50 m dwars de rivier in.

Voor dit traject worden schermen met een lengte van 40 m voorgesteld die loodrecht staan op de as van de krib en 15 m uit het kribbaken staan, zie paragraaf 3.1 voor de kribafmetingen. Twee parallelle wilgenschermen met een tussenruimte van 1 m vormen het scherm, zie doorsnede in Figuur 3.1. De ruimte tussen de palenrijen wordt opgevuld met sediment (in geotextiel). De schermen staan asymmetrisch ten opzichte van het hart van de krib, 25 m lengte bovenstrooms en 15 m lengte benedenstrooms van het hart, zie Figuur 3.7.



Figuur 3.7 Schets van wilgenschermen voor de kribkoppen

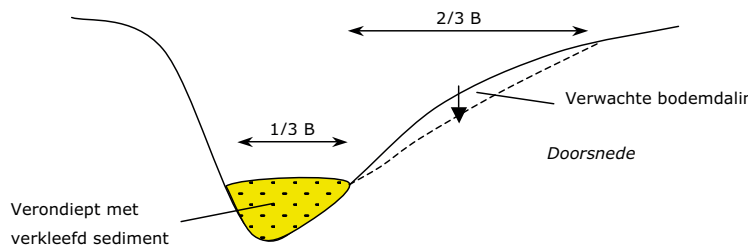


Figuur 3.8 Pilottraject Zutphen km 934 – km 935

## Pilot Zutphen traject km 935 – km 936

In dit traject ligt een ondiepte langs de binnenbocht voor de ingang naar de Houtmerkplass, zie Figuur 3.10. Met verkleefd bodemmateriaal gestort in de diepe buitenbocht over een lengte van 350 m tussen km 935.5 en km 936 kan de vaardiepte in de breedte toenemen. Het dwarsprofiel kantelt waardoor de ondiepte langs de binnenbocht reduceert.

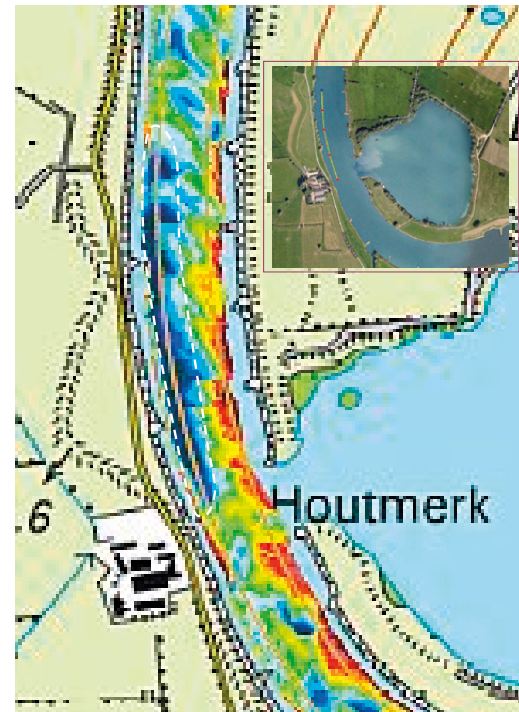
Aangenomen wordt dat het aanbrengen van een erosiebestendige laag in de diepe buitenbocht over  $1/3$  van de breedte gebeurt. Dat levert een bodemverlaging over  $2/3$  van de breedte op in het ondiepe deel in het dwarsprofiel waar de verondieping is aangebracht. Dus verondiepen met 1 m in de diepe buitenbocht ( $1/3$  van de geulbreedte) zal een verdieping van de binnenbocht ( $2/3$  van de geulbreedte) geven van gemiddeld 0,5 m.



Figuur 3.9 Verwacht effect van verondieping buitenbocht op bodemligging in binnenbocht

Het produceren van Eco grout voor deze locatie zou kunnen plaatsvinden vanaf een drijvende installatie die in de Houtmerkplass kan liggen. Het bodemmateriaal van de ondiepte langs de rechteroever wordt gebruikt en na het verkleven in het diepere deel van het traject gestort.

Als alternatief voor Eco grout kan de erosiebestendige laag worden opgebouwd uit klei, met behulp van big bags gevuld met zand, of middels zinkstukken (verzwaard met big bags of klei).



Figuur 3.10 Pilottraject Zutphen km 935 – km 936



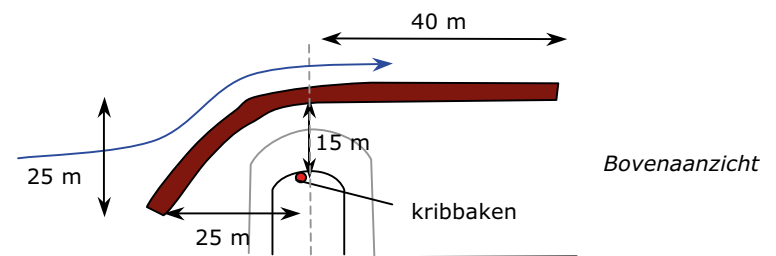
## Pilot Zutphen traject km 936 – km 937

Langs de binnenbocht in dit traject ligt een ondiepte die met behulp van aanpassingen aan de korte kribben wordt verdiept. De aanpassing gebeurt met 5 J-vormige vlechtwerken rond de kribben over een lengte van 350 m langs de binnenbocht tussen km 936.2 en km 937, zie Figuur 3 12. Het doel van de aanpassing is het beperken van de turbulente wervelstraat die ontstaat vanaf de kribkoppen en het versmallen van de rivierbreedte. De stroming in de kribvakken is niet ontwikkeld zoals in normale kribvakken, door de korte kribben (15 m) in combinatie met een grote kribafstand (80 m). De maatregel mag het stroombeeld in deze kribvakken dus verstoren. Het bevestigen van de J-vormige vlechtwerken aan de stenen kribben is niet mogelijk zonder veel breekwerk. Daarom is gekozen van een J-vormig voorzetscherm dat buiten de bodembescherming loopt.

In Figuur 3 11 is het ontwerp geschetst. Het scherm begint in het kribvak op 15 m uit het kribbaken en loopt met een flauwe kromming tot 40 m voorbij de kribas. Het kribvak is hier ongeveer 80 m breed, dus loopt het scherm tot halverwege het kribvak door. De straal van de kromming is circa 25 m, het scherm loopt onder 45° vanuit de rivier het kribvak in. Door de afronding is het scherpe loslaatpunt van de krib vervangen door een afgeronde constructie waarlangs de hoofdstroom richting de rivieras wordt gedrukt. Daarbij ontstaan minder turbulente wervels dan bij de kribkop. De opbouw van het scherm is een enkelvoudig palenscherm met wilgentakken zoals weergegeven in Figuur 2 4.

Golven van passerende schepen belasten het scherm, maar het water achter het scherm is niet afgesloten van de rivier zodat golven ook achter het scherm doordringen en het verval over het scherm beperkt zal zijn. Dit is, gezien de beperkte scherm lengte en situatie, een geschikte locatie om de sterkte van een enkelvoudig wilgenscherm te onderzoeken.

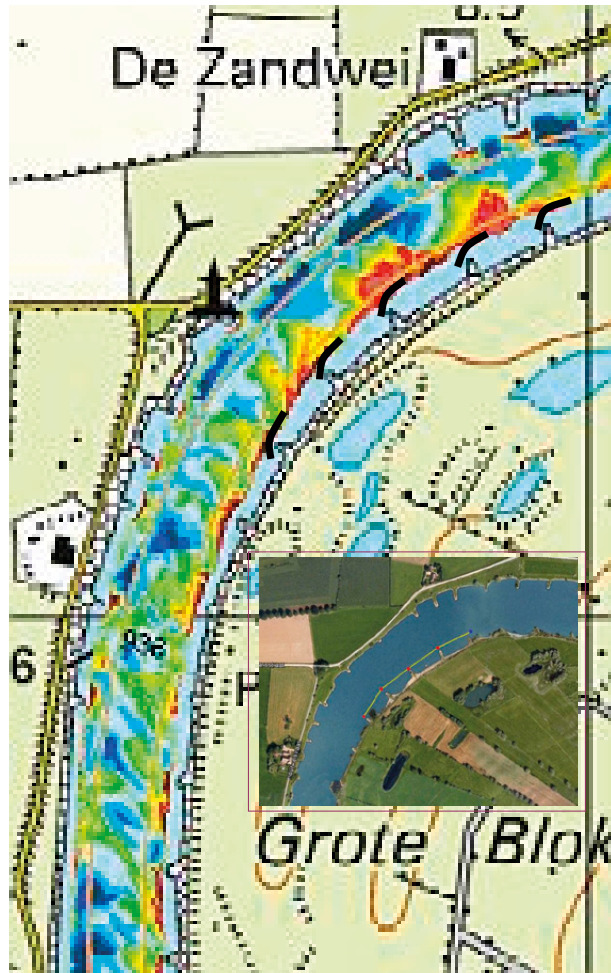
De werking is anders dan de schermen in paragraaf 3.4. Hier is het de bedoeling dat de stroming voor de krib wordt opgevangen door het scherm en meer richting rivieras wordt geleid. Daarmee neemt de stroomsnelheid in de rivier toe en erodeert de bodem. Het opgenomen sediment zal verder benedenstrooms weer worden afgezet in de diepere delen van het dwarsprofiel. De vernauwing van het dwarsprofiel is 15 m op een breedte van 100 m, dus 15%. Met de formule uit paragraaf 3.1 levert dat een gemiddelde profielverruiming, dus bodemverlaging op van circa 0,7 m over het traject waar de J-schermen zijn geplaatst.



Figuur 3.11 Schets van een J-vormig vlechtwerk rond de kribben

## Voorbeelden uit het buitenland

In het buitenland zijn ook diverse voorbeelden waar met eenvoudige constructies de stroming beïnvloed wordt, om bijvoorbeeld eroderende buitenbochten tegen te gaan. Met lokaal materiaal en in de regel veel mankracht, worden de constructies aangelegd. Duidelijke voorbeelden van SSRS-oplossingen.



Figuur 3.12 Pilottraject Zutphen km 936 – km 937



Bodemschermen om de ruimtelijke verdeling van erosie en sedimentatie te beïnvloeden. (Rivier de Elanjani, Bangladesh)



Drijvende oppervlakteschermen om de ruimtelijke verdeling van erosie en sedimentatie te beïnvloeden. (Brahmaputra-Jamuna, Bangladesh)



Bandals voor het scheiden van sedimentrijk water, dat leidt tot sedimentatie, en sedimentarm water, dat leidt tot erosie. (Brahmaputra-Jamuna, Bangladesh)



Tijdelijke (erodeerbare) dammen (bedekt met bakstenen) om lokaal sedimentatie te bevorderen, die elders door erosie wordt gecompenseerd. (Brahmaputra-Jamuna, Bangladesh)

Ook denkbaar: sturing door gericht vegetatiebeheer.

# Hoe verder?



## Overzicht ideeën

In Tabel 4.1 zijn de trajecten, voorgestelde maatregelen en verwachte effecten samengevat.

Traject	Knelpunt (km) linker-/rechteroever	Oorzaak knelpunt	Voorgestelde maatregel	Verwachte uitwerking (eerste schatting)
Doesburg	• 899-900, LO	• Pointbar, binnenbocht	• Langsdam van dubbel wilgenscherm	• Versmalling à meerdere dm's verdieping
	• 901-902, LO	• Ondiepte bij monding Oude IJssel	• Boomstammen langs linkeroever	• Boomstammen wekken turbulentie op, waardoor lokale erosie ontstaat (1-2 dm)
	• 902-903, RO	• Verbreding bij scheepswerf	• Langsdam van dubbel wilgenscherm	• ter hoogte van scheepswerf wordt rivier versmald à verdieping tot ca 1 dm
Zutphen	• 929-930, LO	• Ondiepte bij monding Twentekanaal	• Baggeren zonder terugstorten	• Verdieping
	• 934-935, LO	• Binnenbocht tegenover lange kribben	• Wilgenscherm voor kribkop langs	• Door "plaat voor de kop" reduceert turbulentie bij kribkop en dus lokale erosie en sedimentatie (0,2-0,3 m)
	• 935-936, RO	• Pointbar binnenbocht	• Erosiebestendige laag in buitenbocht (eco grout)	• Door quasi-permanente vaste laag wordt erosie in binnenbocht gestimuleerd (tot ca 0,5 m)
	• 936-937, RO	• Pointbar binnenbocht	• J-vormige kribkop van wilgenscherm	• Geleiding van de stroming en vermindering lokale erosie en sedimentatie (meerdere dm's)

Tabel 4.1 geselecteerde knelpunten en voorgestelde maatregelen met toepassing van lokaal beschikbaar materiaal

De verkenning geeft een eerste indicatie van mogelijke maatregelen met lokaal beschikbaar materiaal (met name wilgentakken, zand en bomen). De schetsen kunnen worden gebruikt voor verdere uitwerking van pilots langs de IJssel.

## Uitwerking tot pilots

De geschetste ideeën in dit inspiratieboek variëren van rijp tot groen. Een volgorde van uitvoering kan gehanteerd worden op basis van de volgende criteria:

- Mate van proven technology;
- Innovativiteit;
- Haalbaarheid (o.a. uitvoering, kosten);
- Omvang van het knelpunt (al zijn alle knelpunten flink).

Op basis van een eerste beoordeling kan dit een eerste volgorde zijn:

1. 934-935, Zutphen, plaat voor de kop: flink knelpunt; de plaat voor de kop is al op de Waal getoetst en lijkt te werken. Combinatie in een veld van 5 kribben is interessant.
2. 936-937, Zutphen, J-vormige kribben: flink knelpunt. Werking vergelijkbaar met plaat voor de kop, maar vergelijking werking beide maatregelen interessant.
3. 901-902, Doesburg, turbulentieopwekkers: nog niet op deze schaal toegepast. Eenvoudig uit te voeren.
4. 899-900, Doesburg, langsdam: scherm al toegepast op Nederrijn, maar nog niet met dit doel. Interessant om te zien wat effect van wel/geen geotextiel is op de uitspoeling.
5. 929-930, Zutphen, baggeren in monding TK: ervaring is aanwezig. Interessant om te zien of het geld kan opleveren.
6. 935-936, Zutphen, erosiebestendige laag: technologie heeft zich nog niet in de praktijk bewezen.
7. 902-903, Doesburg, versmalling bij scheepswerf: scheepswerf nog in gebruik, dus haalbaarheid wordt laag ingeschat.

Binnen het prestatiecontract IJsseldelta-Twentekanalen wil Rijkswaterstaat het concept SSRS verder ontwikkelen. Daarom legt RWS bij de uitvraag de expliciete wens neer dat de aannemers, op basis van hun eigen kennis en ervaring én dit inspiratieboek de voorbeelden Sedimentsturing verder uitwerken in verbetervoorstellen of investeringsvoorstellen.

Om optimaal profijt te hebben van deze pilot biedt RWS, tijdens de looptijd van het contract, ook de ondersteuning aan van experts voor specifieke kennis, voor meedenken in het ontwerp en voor de monitoring gedurende de testfase. Daarvoor zijn al adviesuren van Deltares ingecalculeerd. Zo wordt deze pilot een samenspel tussen de aannemer van het onderhoudswerk op de IJssel, de rivierbeheerder (scheepvaartveiligheid dient gewaarborgd te blijven), en kennisinstituten.

Alle ingediende verbeter- en investeringsvoorstellen zullen worden uitgewerkt in samenspraak met de aannemer die het sedimentbeheer op de rivier uitvoert en met de rivierbeheerder. Dit betekent dat de pilots met de praktijkkennis van de aannemer en rivierbeheerder verder worden uitgewerkt (verfijnd, aangescherpt), maar ook dat de hierboven geschetste prioritering van de pilots kan wijzigen. Per voorstel worden de gemaakte afspraken vastgelegd.

# Referenties

Deltares (2011): Projectvoorstel aanpassen erosie-bestendigheid Waalzand. Kenmerk 1205546-000-GEO-0001. 28 september 2011.

Gerhard M. en M. Reich (2000): Restoration of Streams with Large Wood: Effects of Accumulated and Built-in Wood on Channel Morphology, Habitat Diversity and Aquatic Fauna. International Review of Hydrobiology, Volume 85, Issue 1, pp 123–137.

HKV en Deltares (2002): Planstudie Boven-IJssel. Selecteren van maatregelen. Rapportnr. PR544/Q3239. Oktober 2002.

Kail J. (2003): Influence of large woody debris on the morphology of six central European streams. Geomorphology 51, pp 207–223.

Kail J., D. Hering, S. Muhar, M. Gerhard en S. Preis (2007): The use of large wood in stream restoration: experiences from 50 projects in Germany and Austria. Journal of Applied Ecology, 2007, 44, pp 1145–1155.

NLWKN (2009): Hunte 25, EG-WRRL-Modellprojekt Hunte | Lethe | Haaren. Teilprojekt Hunte; Planung und Umsetzung strukturverbessernder Maßnahmen an Hunte und Huntloser Bach mit begleitendem maßnahmenbezogenem Monitoring; Abschlussbericht AuszugTotholz. December 2009.

RWS-DWW (2004): Innovatieve kribben met palenrijen Hoofdrapport. Samenvattend rapport Innovatieve kribben. Rapport DWW-2004-055. Juni 2004.

RWS-ON, Deltares, Search Consultancy (2011): Roadmap Self Supporting Rivier Systeem 2021. Arnhem, april 2011.

Schoor M.M., Greijdanus M., Geerling G.W., Van Kouwen L.A.H. en Postma R (2011): Een nevengeul vol leven, handreiking voor een goed ecologisch ontwerp. Rijkswaterstaat 2011.

Shields F.D., N. Morin en R.A. Kuhnle (2001): Effect of Large Woody Debris Structures on Stream Hydraulics. Proceedings of the conference on Wetland Engineering and River Restoration, Reno, Nevada, August 27-31, 2001.

Sieben A. (2009): Wanden in de Waal, onderzoek naar de invloed van kribkoppen op de lokale bodemligging. Memo. 24 november 2009.

Tank F.T.G. en F.R. Kok (1998): Evaluatie pilot kribvakafsluiting, waterbeweging, morfologie en ecologie. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie Oost-Nederland.

