

**ONDERWERP**  
Morfologische activiteit Vecht Hardenberg-Junne

**PROJECTNUMMER**  
C01021.201008

**DATUM**  
5-4-2017

**ONZE REFERENTIE**  
079360401 A

**VAN**  
Arjan Tuijnder MSc PhD

**AAN**  
Provincie Overijssel

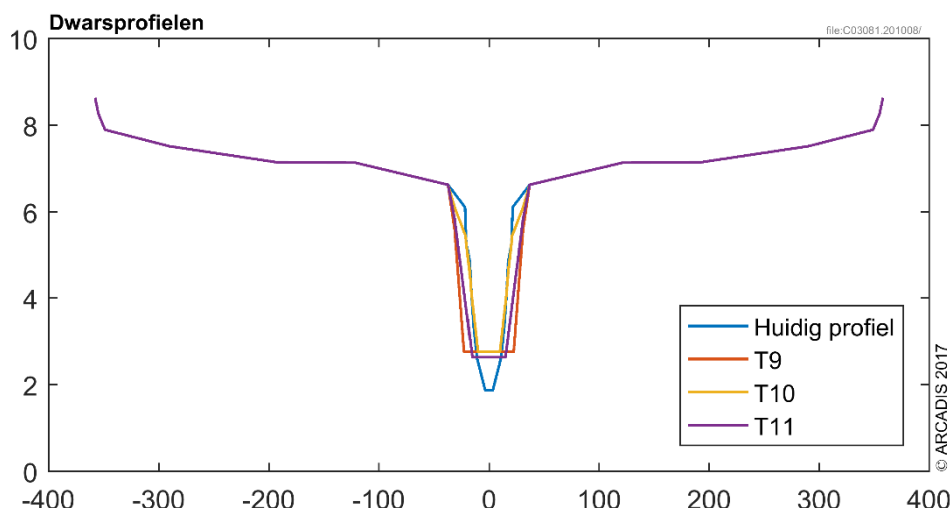
## Inleiding

De Overijsselse Vecht wordt in het stroomgebied van Waterschap Vechtstromen over 2 trajecten van enkele kilometers geheermeanderd. Hierbij wordt een nieuw hydraulisch ontwerp gemaakt (zie rapportage waterschap Vechtstromen voor toelichting). Doelstellingen van het project zijn o.a. het realiseren van een half natuurlijke rivier. Hierbij moet ruimte zijn voor erosie en sedimentatie en eventueel het migreren van bochten. In dit memo wordt gekeken wat de gevolgen zijn van de drie meest recente dwarsdoorsneden (T9, T10, T11 - zie Figuur 1) die overwogen zijn in dit project, en dan met name voor morfologische processen.

De grootte van de dwarsdoorsnede voor het ontwerp is (door Waterschap Vechtstromen) bepaald door uit te rekenen hoe groot de dwarsdoorsnede moet zijn om aan hoogwaterveiligheidseisen te voldoen. Het niveau dat bereikt wordt bij een maatgevend hoogwater (MHW) is dus bij benadering gelijk voor alle ontwerpen. Iteratief zijn door het waterschap opeenvolgende ontwerpen gemaakt om te voldoen aan de diverse randvoorwaarden, zoals waterveiligheid, voorkomen verdroging e.d. Vanuit stroming bezien zijn 3 randvoorwaarden aangepast:

- De oevers worden ruwer,
- Het verhang neemt af,
- De rivier wordt verondiept (bodemniveau wordt verhoogd), en dan ook verbreed (veiligheid)

Al deze veranderingen hebben tot gevolg dat de stroming vertraagt; bij een gelijke afvoer is een grotere dwarsdoorsnede nodig is om een gelijke (MHW) waterstand te handhaven. Wanneer de (MHW) waterstand vastligt en de bodem wordt verhoogd moet de "bak" dus breder worden. Deze procedure heeft er dus toe geleid dat de dwarsdoorsnede van het ontwerp groter is dan de huidige dwarsdoorsnede.



Figuur 1 Dwarsprofielen van de Vecht in de huidige situatie en in 3 scenario's

In de huidige situatie is de rivier niet erg dynamisch, morfologische veranderingen spelen zich grotendeel op grote diepte af; slechts op enkele plekken kan een oever aanzanden of eroderen. Het vergroten van de dwarsdoorsnede betekent dat het waterpeil bij een verhoogde afvoer minder stijgt waardoor de rivier nog langer

gestuwd is en dus kortere tijd vrij afstroomt. Kijkend naar het doel van een meer natuurlijke Vecht zou het logischer zijn om de dwarsdoorsnede te verkleinen en de rivier de ruimte te geven om zich morfologisch te ontwikkelen. Doordat veiligheid leidend is, moet de dwarsdoorsnede echter groter worden, omdat de veiligheid niet mag verslechteren. In de huidige situatie is de Vecht het grootste deel van het jaar gestuwd, waardoor stroomsnelheden zeer gering zijn. Het vergroten van de dwarsdoorsnede versterkt deze situatie. Hiermee is het duidelijk dat de doelstellingen voor een permanent stroomvoerend zomerbed op deze manier niet gehaald zullen worden. Hier is uitgebreid over gediscussieerd in diverse bijeenkomsten en de consensus is dat het behalen van stromingsdoelstellingen zo ver weg ligt dat dit doel (voorlopig?) verlaten wordt in het ontwerp. Op dit punt wordt in deze memo dan ook niet verder ingegaan. Alleen in een stuwpasserende nevengeul is het mogelijk om in de zomer voldoende stroming te handhaven. De hoofdvraag die wel beantwoord wordt in dit memo is in hoeverre er dan nog wel sprake zal zijn van morfologische processen in de Vecht.

In dit memo beschouwen we de volgende vragen:

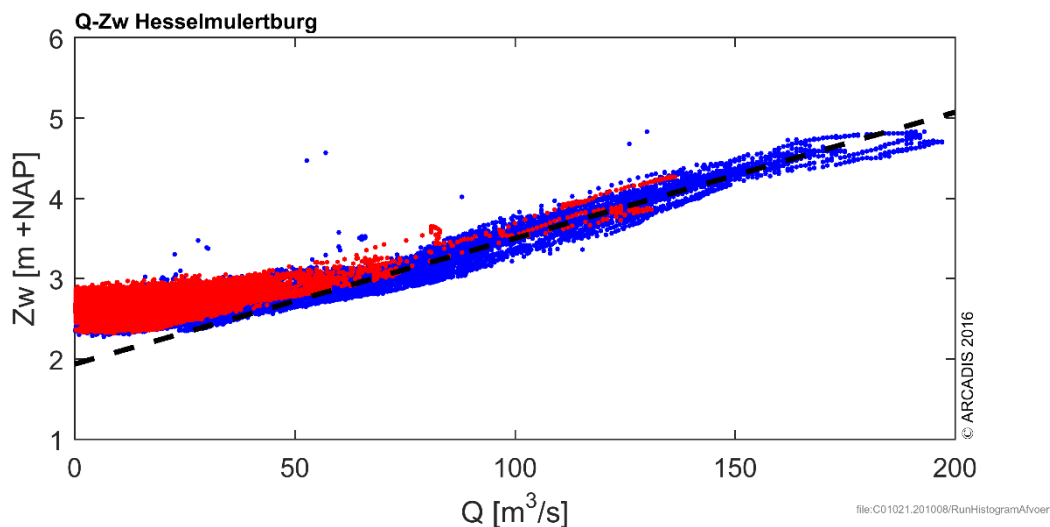
- In welk regime zitten we? Is er sprake van marginale activiteit of juist veel?
- Kunnen we actieve meandering verwachten? Gaan de bochten zich (snel) verplaatsen?
- Vind voldoende suspensief transport plaats om zandafzettingen te mogen verwachten in het winterbed? Hoe vaak?
- Welk afvoerbereik zorgt voor het grootste sediment transport?
- Wat is de kans op het onderschrijden van de vaardiepte, door lage waterstanden of overmatige sedimentatie?

Als laatste onderdeel is het profiel aangegeven voor de voorkeursvariant T11.

## Werkwijze

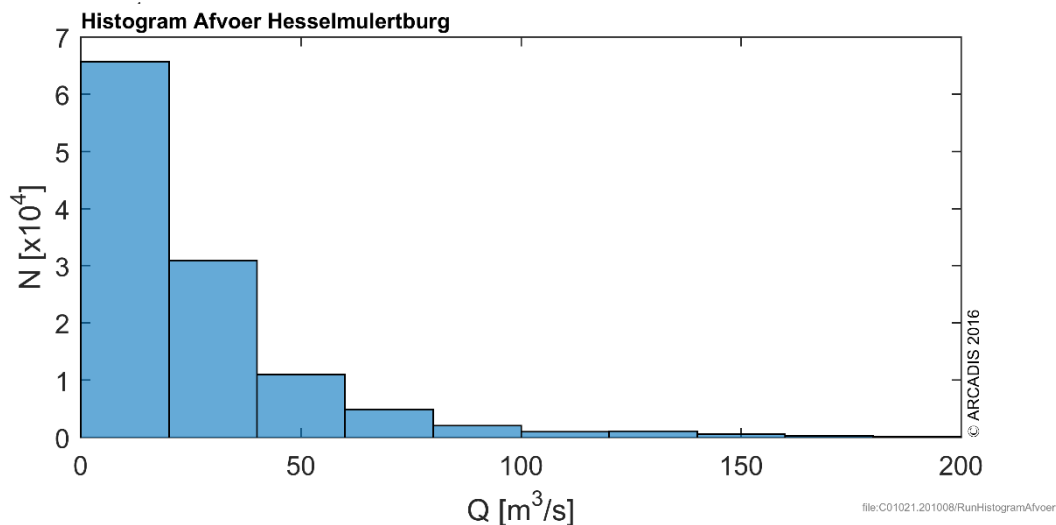
Om inzicht te krijgen in het transportregime in de Vecht is (voor deze memo/ werkzaamheden) gebruik gemaakt van een analyse van de evenwichtsstroming en de bijbehorende transport parameters op een enkel punt. Voor een representatief dwarsprofiel wordt dan aangenomen dat er evenwichtsstroming heerst en worden de hydraulische parameters als diepte en gemiddelde stroomsnelheid bepaald. Omdat de Vecht een groot deel van het jaar gestuwd is kan dat model niet altijd worden toegepast. Figuur 2 toont een plot van de gemeten waterstand tegen de afvoer bij de Hessel Mulertbrug in Ommen. Ondanks de beperkte meetreeks, is de verwachting dat dit voldoende basis biedt voor de analyse. Zie ook figuur 7 verderop, waaruit blijkt dat het aandeel van de hogere afvoeren in het transport afneemt.

Hierin is zichtbaar dat de rivier vrij afstroomt bij hoge afvoeren en gestuwd is bij de lage afvoeren; het omslagpunt ligt ongeveer bij  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ . Omdat in het puntmodel geen rekening wordt gehouden met de stuwen is in de hierna volgende resultaten de lijn beneden de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  gestippeld. De berekening geeft daar een lagere waterstand en een hogere stroomsnelheid dan in werkelijkheid zal optreden. Door het stuwen vindt bij lage afvoeren nog minder transport plaats dan berekend in deze analyse, zie ook de toelichting hieronder bij figuren 3 en 4.

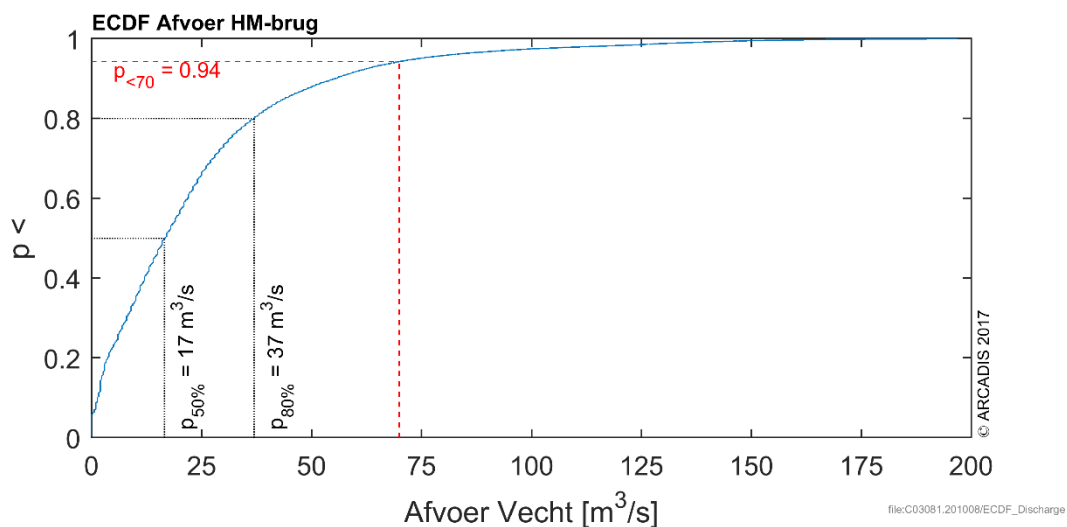


*Figuur 2 Relatie tussen afvoer en waterstand bij Ommen (meetreeks 17 jaar). In rood de droogste maanden (juni t/m september)*

Figuur 3 en 4 tonen de verdeling van de afvoeren bij de HM-brug in Ommen van 1 jan 1999 tot 9 april 2016. Figuur 3 toont het aantal uren dat de afvoer in een bepaalde klasse viel. Figuur 4 is gebaseerd op dezelfde data, maar toont de empirische cumulatieve kansverdeling (ECDF) voor de afvoer bij de brug bij Ommen (figuur 3 toont het histogram van de afvoeren). Hier kun je zien hoe lang een afvoer optreedt; een afvoer van  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  wordt 94% van de tijd niet overschreden. Onder de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  wordt de waterstand door de stuwen kunstmatig verhoogd en is de diepte te groot voor de afvoer, en de stroomsnelheid dus te laag voor de afvoer. Het gevolg is dat de hoeveelheid sedimenttransport snel afneemt onder de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figuur 3

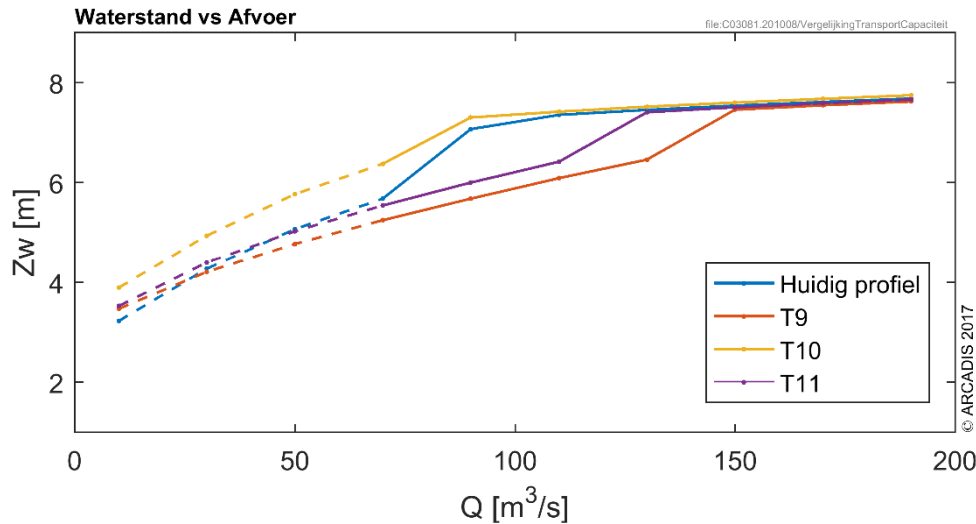


Figuur 4

## Resultaten

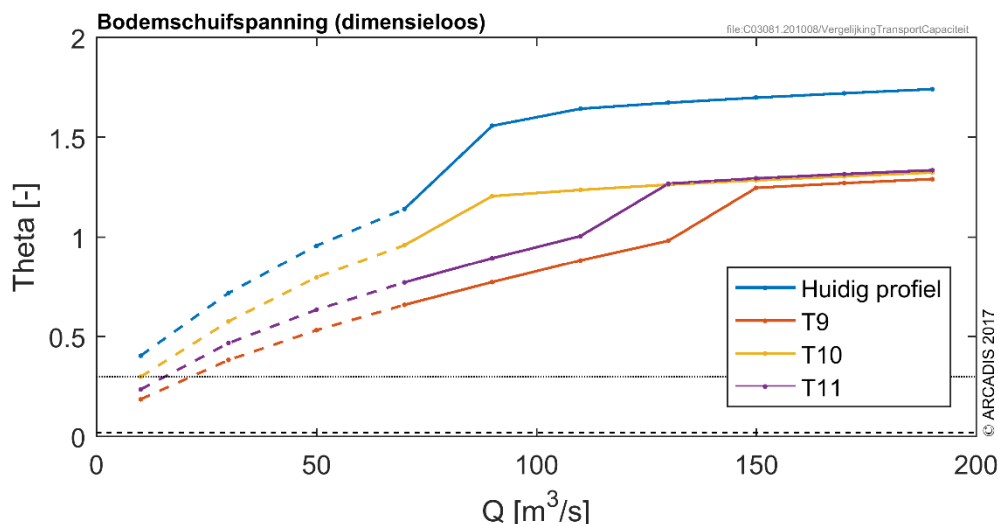
Met het puntmodel voor evenwichtsstroming zijn de waterstanden en stroomsnelheden en de resulterende sediment transporten uitgerekend. Figuur 5 toont het effect van de verschillende ontwerpen van de dwarsdoorsneden voor de waterstand. T9 is het ruimste profiel en kan daarom het grootste debiet afvoeren bij een bepaalde waterstand, het duurt dus het langst voor deze buiten zijn oevers treedt. T10 is het krapste profiel;

dit profiel is ontworpen om zoveel mogelijk stroming en morfologische activiteit te krijgen in de Vecht. Dit profiel treedt dus als eerste buiten zijn oevers. T11 is het huidige profiel van het voorkeursontwerp.



Figuur 5

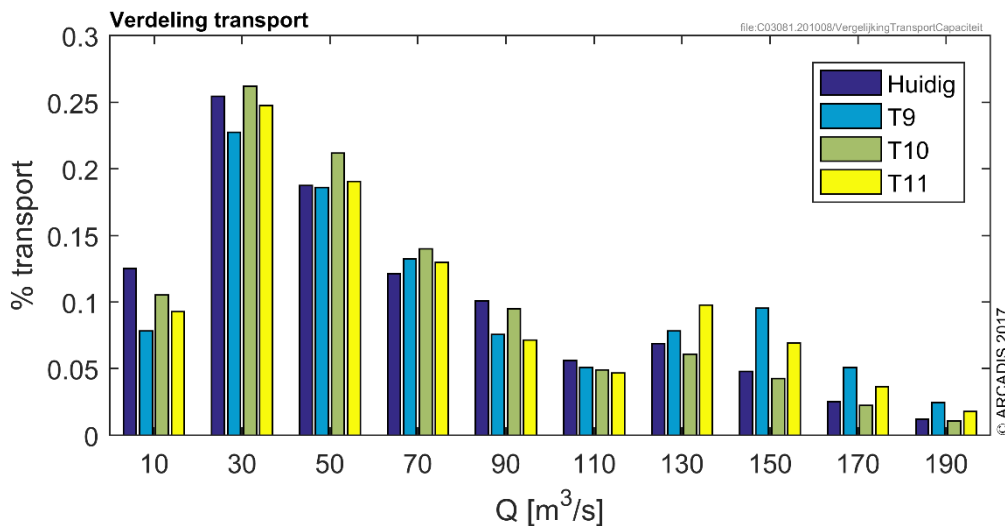
Op basis van de waterstanden, stroomsnelheden en het verhang is de dimensieloze bodemschuifspanning (Theta of  $\theta$ ) uitgerekend. Dit is de aandrijvende kracht voor sedimenttransport. Deze wordt weergegeven in Figuur 6. Dit figuur laat 2 horizontale stippellijnen zien bij  $\theta = 0.02$  en  $0.3$ , dit zijn de waarden waarbij het bodemmateriaal (Zand  $d_{50} = 0,3$  mm) in beweging komt als bodem transport en als suspensief transport. Alle lijnen komen ruim boven deze waarden uit. Er is dus in alle gevallen sprake van een duidelijke hoeveelheid sediment transport. Het huidige profiel geeft de grootste transporten. De afname in de transportcapaciteit wordt veroorzaakt door het hermeanderen van het zomerbed. Door het hermeanderen neemt de lengte van de rivier toe en daardoor neemt het verhang af. Hierdoor neemt de bodemschuifspanning af.



Figuur 6

Voor het sediment transport is het transportmodel van Engelund en Hansen (1967) gebruikt omdat dit geschikt is voor het transport van fijn zand als bodemtransport en in suspensie. Sediment transporten zijn erg moeilijk te voorspellen en dergelijke modellen kunnen alleen na zorgvuldige kalibratie en validatie worden gebruikt. Daarom is hier niet de absolute hoeveelheid gegeven, maar de verdeling van het transport over de opgetreden debieten. Dit geeft inzicht in de vraag of de morfologie nu voornamelijk wordt bepaald door de lage afvoeren die vaak voorkomen of de hoge afvoeren die zelfden voorkomen maar veel transport veroorzaken.

Figuur 7 laat zien dat de lage afvoeren in principe een groter deel van het transport veroorzaken. Voor alle scenario's is de verdeling ongeveer gelijk en vindt het grootste gedeelte van het transport plaats bij 30 – 50 m<sup>3</sup>/s. Echter, dit valt in de praktijk in het regime waarin de stuwen actief zijn. Zeker bij 30 m<sup>3</sup>/s is de verwachting dat er niet veel transport meer zal plaatsvinden. De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat het meeste transport zal plaatsvinden wanneer de stuwen gestreken zijn of bijna gestreken zijn (ca. 50-70 m<sup>3</sup>/s). Deze omstandigheden komen regelmatig voor; ondanks dat het transport dan geringer is dan bij bijvoorbeeld 130 m<sup>3</sup>/s, wordt er in totaal dan toch meer sediment getransporteerd.



Figuur 7 Relatieve verdeling van sedimenttransport

#### Ad figuur 7: wat is het meest gunstige scenario en bij welk debiet ?

Figuur 7 laat alleen de relatieve verdeling zien, niet de absolute hoeveelheden. De reden daarvoor is beschreven direct onder figuur 6. De relatieve aandelen verschillen niet veel tussen de 4 varianten (huidig + 3 scenario's). Daarnaast blijkt uit figuur 6 en de toelichting daarop, dat er in alle gevallen sprake is van een duidelijke hoeveelheid sediment transport, maar dat die drie scenario's alle lager liggen dan de huidige situatie. Dus puur daarnaar kijkend is de huidige het meest gunstig. Uit figuur 6 blijkt ook dat de bodemschuifspanning als drijvende kracht afneemt c.q. optreedt bij lagere afvoeren in de volgorde: Huidig > T10 > T11 > T9. Vanaf 150 m<sup>3</sup>/sec vallen de drie scenario's samen. Maar T10 leidt tot hogere waterstanden dan de huidige (zie figuur 5). Belangrijker lijkt echter dat in de nieuwe ontwerpen er veel meer sprake is van variatie in stroomsnelheden e.d. binnen het profiel. Er zijn zeer flauwe oevers en zeer steile oevers, er zijn inundatiezones/ plas dras en oevers zijn ontsteend. Verwacht mag worden dat de scenario's alle veel meer "ecologisch relevante sedimentatie en erosie" bevatten dan de huidige. De vraag welk scenario het meest gunstig is, kan niet los worden gezien van het ontwerp c.q. inrichting (en beheer).

## Antwoorden op vragen

In de zoektocht naar een voorkeursalternatief leefde er een aantal vragen bij de Provincie Overijssel en het Waterschap Vechtstromen. Onderstaand wordt een aantal van deze vragen besproken. Een aantal vragen kunnen nog niet worden beantwoord, deze worden in de volgende sectie besproken.

#### In welk regime zitten we? Marginale activiteit of juist veel?

De Vecht is nu een sterk actieve rivier, er vindt veel sediment transport plaats zodra een hoogwatergolf optreedt. De mate van activiteit neemt iets af door hermeandering, maar blijft groot.

Actief sediment transport kan zorgen voor een diversiteit aan habitats maar dat geldt voornamelijk wanneer dit transport ook op ondiepe plekken plaatsvindt. Een groot transport over de bodem van een kanaal met steile oevers is alleen maar onwenselijk. Er zijn dan weinig schuilmogelijkheden voor flora en fauna. Een bochtige rivier met diepe en ondiepe plekken is daarentegen wel wenselijk. Op ondiepe plekken kan wel sediment worden afgezet waardoor er een zekere dynamiek blijft bestaan, wat voor pioniersoorten wenselijk is. Tegelijk zijn er zones met lage stroomsnelheden waar niet alle 'leven' wordt weggevaagd tijdens de hoge stroomsnelheden en

transporten. Flauwe taluds in de oeverzones zijn dus belangrijk voor sedimentatie. Een iets minder actieve rivier, met een grotere morfologische diversiteit is ecologisch gezien gunstig.

#### **Zullen bochten actief gaan migreren zoals in het verleden?**

Dat is niet waarschijnlijk. In de huidige Vecht laten ervaringen bij ontsteningen en aanleg meanders slechts beperkte activiteit zien, terwijl de Vecht wel veel sedimenttransport kent. Omdat de ontwerpen qua hydraulisch regime niet veel afwijken van de huidige situatie is het niet de verwachting dat daar veel verandering in komt.

Het ontwerp van de dwarsdoorsnede in de bocht is hierbij wel van belang. In de huidige Vecht is in de bochten geen ondiepe binnenbocht en diepe buitenbocht aanwezig. Er is sprake van een trapezoïde profiel. Wanneer de binnenbocht ondieper en de buitenbocht dieper aangelegd wordt kan de stroomdraad meer naar de buitenbocht verlegd worden, wat mogelijk leidt tot een sterkere erosie van de buitenbocht. In de binnenbocht neemt de stroomsnelheid dan af en kan zich sediment afzetten.

Om actieve meandering te realiseren zou de rivier weer kunnen worden hersteld naar de situatie voor de normalisering, met een grotere lengte (meanders), een veel kleinere dwarsdoorsnede en zonder stuwen. Omdat actieve meandering geen doel op zich is en het verkleinen en ontstuwen wegens uiteenlopende randvoorwaarden geen optie zijn, is het herstellen van actieve meandering daardoor niet mogelijk. Wanneer het sediment transport in de nieuw te ontwerpen Vecht voor een beperkte dynamiek zorgt in de ondiepe delen en op de overstromingsvlakten, is dat al winst voor de ecologie.

#### **Vind voldoende suspensief transport van zand plaats om zandafzettingen te mogen verwachten? Hoe vaak?**

Uit figuur 6 blijkt dat er "heel vaak" (minimaal) zandtransport plaatsvindt. Uit figuur 7 + toelichting blijkt dat er tot  $30\text{m}^3/\text{sec}$  niet veel transport zal plaatsvinden. Uit figuur 4 blijkt dat er 80% van de tijd minder dan  $37\text{m}^3/\text{sec}$  afvoer is. Er is zeker jaarlijks sprake van afvoeren boven de  $50\text{-}70\text{m}^3/\text{sec}$ , dus ook zeker jaarlijks zandtransport van serieuze omvang.

Er vindt zeker voldoende transport plaats, de vraag is of het op zinvolle plaatsen wordt afgezet. Hiertoe moet het op ondiepe plaatsen in de bedding of op overstromingsvlakten worden afgezet. Dit is met een puntmodel zoals hier gehanteerd, of een 1D of 1D/2D Sobek model niet te beantwoorden. Om het met een model aan te tonen zou een 3D model moeten worden gehanteerd en dat vergt een vrij grote inspanning. Het aanleggen van meanders met verschillende bochtstralen, ook met krappe bochten, en de flauwe oevers scheppen de juiste omstandigheden voor sediment afzettingen.

Er zijn twee typen locaties die kansrijk zijn voor sediment afzetting: binnenbochten en plaatsen waar de rivier de overstromingsvlakte (winterbed) op stroomt:

- Een binnenbocht kan alleen maar (zinvol) sedimenteren wanneer er sprake is van een natuurlijk dwarsprofiel. Wanneer het trapezoïde dwarsprofiel wordt vastgelegd op een legger en door baggeren op diepte wordt gehouden, is er geen sprake van nuttige sedimentatie die bijdraagt aan een natuurlijkere rivier. In het ontwerp zijn nu diverse natuurlijke dwarsprofielen voorzien, die kansrijk zijn voor sedimentatie.
- Plaatsen waar de rivier de overstromingsvlakte op stroomt, ontstaan daar waar de dwarsdoorsnede van het zomerbed kleiner wordt en waar de stroomdraad richting een overstroomde oever stroomt. Het sediment wordt dan daar neergelegd waar de stroming vertraagd. In het ontwerp zijn dit plekken als bij Karshoek (overloop op perceel Kremers, richting Karshoek) of bij Stegeren (versmalling ter hoogte van De Roos)

#### **Welk afvoerbereik zorgt voor het grootste sediment transport?**

Bovenstaande analyse heeft laten zien dat de grootste totale transporten plaatsvinden bij afvoeren waarbij de stuwen net gestreken zijn omdat deze vaker voorkomen dan hogere afvoeren. De hoogste transportintensiteit vindt plaats tijdens de absoluut grootste afvoer, maar deze is veel zeldzamer.

Het heeft een aantal voordelen dat de morfologisch relevante afvoer regelmatig voorkomt:

- De morfologie ontwikkelt zich geleidelijker omdat er vaak een kleine verandering plaatsvindt in plaats van zelden een grote.
- Hierdoor wordt het beheer makkelijker: knelpunten ontstaan geleidelijker waardoor er meer tijd is om ze op te merken en in te grijpen.

- De flora en fauna krijgen regelmatig te maken met sediment transport op sommige plaatsen waardoor deze zich kunnen aanpassen aan de omstandigheden.

### **Hoe groot is de kans dat in de heringerichte Vecht de afgesproken vaardiepte van 0,5 meter lokaal of over grotere lengte onderschreden gaat worden door morfologische activiteit?**

Door het ruime profiel dat ontworpen is en het feit dat de waterstanden gestuwd blijven is er een zeer kleine kans op ondieptes over de hele breedte. Wanneer in bochten asymmetrische profielen worden gerealiseerd met een diepe buitenbocht en een ondiepe binnenbocht, wordt lokaal de breedte van 'vaargeul' iets kleiner. Echter, voor de kleine bootjes met een diepgang van < 0,5 m die gebruik kunnen maken van de Vecht blijft de breedte royaal.

De kans op lage waterstanden is bijna nihil, of in ieder geval gelijk aan de huidige. De Vecht blijft immers gestuwd en wordt nauwelijks ondieper. "Overmatige sedimentatie" is over grote lengtes zeer onwaarschijnlijk, gezien de waterpeilen, ontwerpprofielen en het "zandgebrek" van de Vecht. De bodemschuifspanning (zie figuur 6) ligt in het ontwerp lager dan de huidige. Lokaal kan er wel sprake zijn van een "drempel" of "verdieping", zoals in scherpe bochten of de uitmonding van een meander.

## **Vervolg**

Niet alle vragen kunnen momenteel geheel worden beantwoord, onderstaand wordt hier kort uitleg bij gegeven.

### **Identificatie van de plaatsen waar sedimentatie en erosie te verwachten is en waar mogelijk kwalitatief/kwantitatief beschrijven van transportcapaciteit en daadwerkelijke beschikbaarheid van sediment.**

In algemene zin is het zo dat sedimentatie te verwachten is op (relatief stroomluwe delen van) het winterbed, op de flauwe binnen oevers van een meander, en erosie in de buitenbocht, ook als de bodem zich daar wat insnijdt. Deze gebieden zijn dus "bekend". Concrete identificatie van plekken sedimentatie en erosie langs de oevers vraagt om een gedetailleerd beeld van de stroming, dit is er nu niet. Daarvoor moet een 2D of 3D model worden gemaakt. Op een wat hoger abstractieniveau kan op basis van een 1D model wel longitudinale erosie en sedimentatie worden bepaald.

Wat betreft het verschil tussen transportcapaciteit en daadwerkelijk transport: we hebben geen aanwijzingen dat de bodem over significante afstanden afgedekt / afgepleisterd zou zijn door grover sediment of eventueel klei of veenafzettingen in de bodem. We gaan ervan uit dat de transportcapaciteit daadwerkelijk optreedt, afgezien van de gebruikelijke foutenmarge in het voorspellen van sedimenttransport.

### **Met welke (lokale) maatregelen in het profiel van de Vecht is het mogelijk om meer stromingsdynamiek, een gunstigere sedimentatie en/of geomorfologische effecten te verkrijgen?**

Dit is mogelijk met variatie in het profiel in lengte- en dwarsrichting, wat leidt tot variatie in stroomsnelheid, wat weer leidt tot erosie en sedimentatie:

- Asymmetrische profielen met delen met een geringe diepte : deze maken nu al onderdeel uit van het ontwerp, met name in de nieuw aan te leggen meanders.
- Variatie in dwarsdoorsnede kan de rivier helpen sediment af te zetten op overstromingsvlakten, maar werkt wel opstuwend : dit komt nu voor in het ontwerp, bijvoorbeeld bij De Roos waar aan beide kanten beperkt ruimte is. Of de opstuwing optreedt en ongewenst is, moet nog worden doorgerekend.
- Toepassen van dood of levend hout in de geul. Werkt ook opstuwend maar geeft stromingsluwe plekken in de rivier. Hiermee wordt al geëxperimenteerd bij Junne, ook in dit deelgebied zijn hier mogelijkheden voor, waarbij we denken aan binnenbochten gelegen binnen natuurterreinen.

Een andere maatregel die te overwegen is:

- Het stuwregime is momenteel gericht op het handhaven van waterstanden. Door het stuwregime te veranderen, kan bij matige afvoeren (bijvoorbeeld 20-50 m<sup>3</sup>/s, dit moet uitgezocht worden) de stroomsnelheid in de Vecht langer gehandhaafd blijven. Dit zorgt bovenstrooms van een stuw voor meer stroming hierdoor vindt het sedimenttransport bij lagere afvoeren nog plaats. Het zorgt ook tijdelijk voor een wat lagere waterstand direct boven de stuwen. Tijdens lage afvoeren moet gewoon op waterstand gestuwd blijven worden. De haalbaarheid hiervan moet nader beschouwd worden in relatie tot andere doelstellingen die rand voorwaardelijk zijn voor de te hanteren stuwpeilen.

## Ontwerp dwarsdoorsneden o.b.v. Scenario 11

Op basis van het huidige theoretisch ontwerp voor scenario 11 langs de Vecht (T11 in onderstaande figuur) zijn er dwarsprofielen gemaakt, die aangeven hoe de rivier zich zou kunnen gaan ontwikkelen, gegeven de randvoorwaarden.

In onderstaande figuur zijn daarvan twee profielen gegeven: voor een meanderbocht (prof BA, in onderstaande figuur) en voor de meer rechte trajecten (prof AB). De overige profielen bewegen zich tussen deze twee extremen in. Echt rechte stukken zijn er niet.

In het ontwerp voor de nieuwe Vecht zal geen verdieping aangebracht worden, zoals profiel B aangeeft, zodat verdrogende effecten voorkomen worden.

Om een nieuw ontwerp voor de dwarsprofielen te maken op basis van het huidige ontwerp is uit gegaan van een doorstroom oppervlak van  $169 \text{ m}^2$ . Dit doorstroom oppervlak is gebaseerd op het gewenste basis dwarsprofiel voor Scenario 11 dat beschreven staat in figuur 27 in het rapport 'Scenariobeschrijving plan op hoofdlijnen Vecht'. Voor elk profiel dat is getekend is rekening gehouden met het doorstroom oppervlak ( $169 \text{ m}^2$ ), gewenste rivier breedte (70 meter), gewenste bochtstraal (huidige ontwerp), het maatgevende hoogwaterstand T200, flauwe binnenbochten van het rivierprofiel (1:10) en steile buitenbochten van het rivierprofiel (1:1).

