

Eerste vuistregels voor inpassing en ontwerp geulen in Rijn-Maas-monding

N. Geilen, M. Schropp, E. Snippen en A. Sieben

RIZA werkdokument 01.....X
versie 5 september 2001

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	2
VOORWOORD	3
1. INLEIDING	4
2. AANPAK	5
2.1. KENSCHETS GEULTYPEN	6
2.1.1. <i>Nevengeul</i>	6
2.1.2. <i>Strang</i>	6
2.1.3. <i>Getidekreek</i> (info: van Oevelen et al, 2000).....	7
3. INPASSING GEULTYPEN IN STUDIEGEBIED	9
3.1. BESCHIKBARE EN BENODIGDE RUIMTE (BREEDTE) T.B.V. GEULEN.....	9
3.2. SCHATTING STROOMSNELHEID NEVENGEUL UIT STROOMSNELHEID HOOFDGEUL.....	13
3.3. CRITERIA VOOR GETIJSLAG, STROOMKENTERING EN STROOMSNELHEID	15
4. DIMENSIONERING GEULTYPEN	18
4.1. ECOLOGISCHE WENSEN EN RANDVOORWAARDEN	18
4.2. EFFECTEN VAN NEVENGEULEN OP MAATGEVEND HOOGWATER (MHW).....	21
4.3. BEHEER EN ONDERHOUD.....	24
5. SLOTBESCHOUWING EN AANBEVELINGEN	28
5.1. AANBEVELINGEN (SAMENGEVAT)	29
LITERATUUR	30

VOORWOORD

De komende jaren staan grote veranderingen te gebeuren in onze riviersystemen, ingegeven vanuit de handhaving van de veiligheid tegen overstroming. De uitdaging is hierbij het ecologisch herstel van de watersystemen te integreren. Naast het verkennen van mogelijke ontwikkelingsrichtingen, voor de Rijn-Maas-monding ingevuld middels de studie IVB, is het zaak voor de concrete uitvoering de benodigde kennis vanuit de verschillende invalshoeken op orde te krijgen. Dit project vormt hiertoe een eerste aanzet, waarbij de fysische en ecologische randvoorwaarden rondom verschillende geultypen centraal staan.

Het project “Eerste vuistregels voor inpassing en ontwerp geulen in Rijn-Maas-monding” is door RIZA uitgevoerd in opdracht van RWS Dir. Zuid-Holland. Bij de invulling is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande kennis, veelal afkomstig uit het “bovenrivierengebied”. Deze informatie is doorvertaald naar de specifieke situatie in de Rijn-Maas-monding. Mede door de inbreng van de begeleidingsgroep vormt dit rapport een goede eerste aanzet om te komen tot ontwerprichtlijnen voor specifieke ingrepen of ontwikkelingen rondom geulen in de Rijn-Maas-monding. De leden van de begeleidingsgroep willen we hier dan ook graag voor bedanken: Marieke Ohm, Ary van Spijk, Patrick Pieters, Joan van der Velden (allen RWS DZH) en Hugo Coops (RIZA).

Noël
Max
Edwin
Arjan

1. INLEIDING

De komende jaren staan grote veranderingen te gebeuren in de inrichting van het Nederlandse rivierengebied. Zo ook in de Rijn-Maas-monding, het beheergebied van RWS Directie Zuid-Holland. Deze veranderingen worden ingegeven door o.a. de handhaving van de veiligheid tegen overstroming en de invulling van de doelstelling voor ecologisch herstel van het watersysteem. Projecten als IVB (Integrale Verkenning Benedenrivieren (de Jong et al, 2000)) richten zich op het verkennen van mogelijke ontwikkelingslijnen. Voor de vertaling van dergelijke ideeën naar concrete inrichtingsprojecten is informatie gewenst over de randvoorwaarden (inhoudelijke eisen, dimensies etc.) die de verschillende functies of disciplines aan een bepaalde fysieke ingreep stellen.

RWS Directie Zuid-Holland heeft RIZA gevraagd voor een aantal van deze ingrepen, te weten de verschillende geultypen, een eerste aanzet tot vuistregels te formuleren. Hierbij ligt de nadruk op de fysische en ecologische randvoorwaarden. De vragen waar aandacht aan besteed dient te worden zijn nader gespecificeerd in het offerteverzoek (zie bijlage 1).

In de discussies rondom de invulling van het veiligheidsvraagstuk is de rol en invloed van de functie natuur niet onomstreden. Dit komt omdat natuurontwikkeling in vergelijking met productiegraslanden in veel gevallen tot verruwing van het winterbed leidt. Dit resulteert in het stroomvoerende deel van het winterbed in een opstuwning van de waterstanden bij hogere afvoeren die gecompenseerd zal moeten worden. De discussie rond de koppeling van hoogwatermaatregelen en kansen voor natuur(ontwikkeling) speelt het minst rondom “geulen”. Mede op grond hiervan is voor deze eerste aanzet voor vuistregels gekozen voor een uitwerking voor verschillende geultypen.

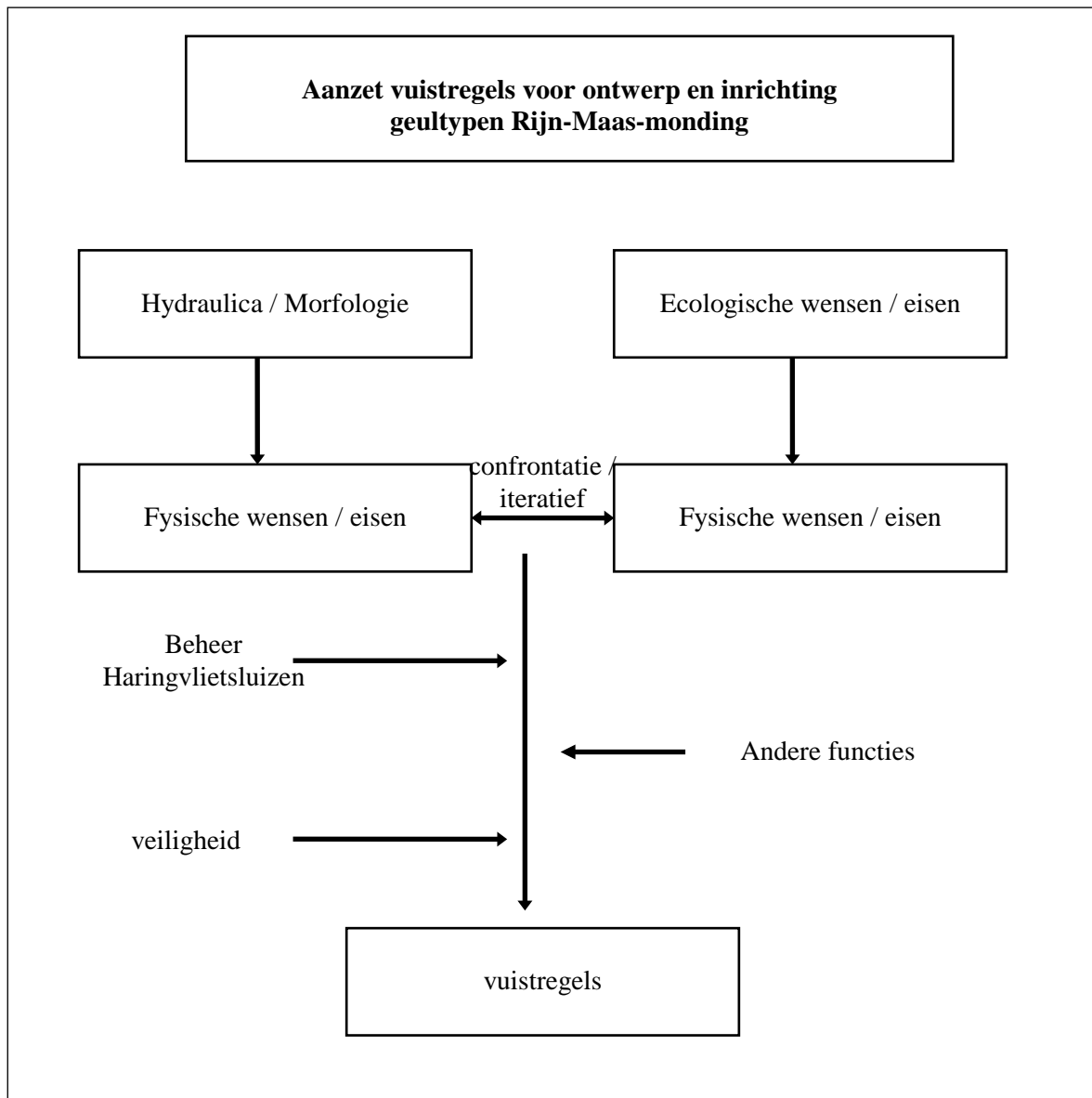
DOEL

Opstellen van eerste grove vuistregels aangaande het aanleggen van verschillende geultypen die binnen de Rijn-Maas-monding mogelijk zijn, gelet op o.a. fysische en ecologische randvoorwaarden.

Uitgangspunt voor deze eerste aanzet tot vuistregels is zoveel mogelijk uit te gaan van bestaande kennis en data. Nader onderzoek om deze indicatieve vuistregels (op onderdelen) te specificeren was niet voorzien in deze fase van het project. Het is de bedoeling dat in een vervolgfase deze vuistregels nader ingevuld gaan worden. Voor een deel zal dit ook geschieden in een nieuw te starten project, waarbij het herstelproject “Klein Profijt” als studiegebied zal fungeren (informatie: H. Coops (RIZA) en P. Pieters (DZH)).

2. AANPAK

In de navolgende hoofdstukken wordt op een aantal bepalende factoren ingegaan die van belang zijn bij de inpassing en dimensionering van de verschillende geultypen. Figuur 1 geeft een overzicht van de doorlopen werkwijze. Bij de invulling van deze werkwijze is voor een groot deel gebruik gemaakt van de kennis en ervaringen rondom de inrichting en het beheer van (neven)geulen in het bovenstroomse deel van de Rijntakken. Voor een eerste aanzet tot richtlijnen is dit geen belemmering, maar men dient zich ervan bewust te zijn dat hiermee de specifieke situatie in de Rijn-Maas-monding niet geheel recht wordt gedaan.



Figuur 1. Schematisch overzicht gevolgde werkwijze voor de aanzet tot vuistregels m.b.t. ontwerp en inrichting geultypen Rijn-Maas-monding.

2.1. Kenschets geultypen

Een natuurlijk riviersysteem kent verschillende geultypen. Naast de hoofdgeul betreft dit een aantal “nevenwateren”, waarbij de mate van invloed van de hoofdstroom de belangrijkste factor is die van invloed is op de ontwikkeling van deze nebenwateren. Op basis hiervan en de ontstaansgeschiedenis kunnen de volgende geultypen onderscheiden worden die in de verdere analyse zijn meegenomen:

- Nevengeul: met en zonder getij;
- Strang: éézijdig aangetakt en geïsoleerd;
- Getijdekreek.

Daarnaast kunnen overlaten en “groene rivieren” onderscheiden worden; deze zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Voor een goed begrip wordt aansluitend, op grond van een aantal achtergronddocumenten, een korte kenschets van de verschillende geultypen gegeven zoals die in deze studie is gehanteerd. Deze beschrijvingen zijn bedoeld als kader voor dit project en niet als algemeen geldende definities.

2.1.1. Nevengeul

Een nevengeul is een (nagenoeg) permanent 2-zijdig met de hoofdgeul verbonden geul die parallel aan de hoofdgeul verloopt. Door de open verbindingen heerst in de nevengeul dezelfde hydrodynamiek als in de hoofdgeul: stroming en waterstandsschommelingen (a.g.v. rivierafvoer en/of getij).

Voor de natuurlijke vorming van nevengeulen is erosie van de rivieroever een voorwaarde. Als gevolg van deze erosie krijgt de hoofdgeul een grotere breedte-diepte-verhouding en komt er materiaal vrij voor sedimentatie. De grotere breedte-diepte-verhouding leidt tot stroomvertraging, wat leidt tot sedimentatie in de hoofdgeul. Op termijn kan dit leiden tot eilandvorming, waardoor naast een hoofdgeul een nevengeul ontstaat. Eilanden ontstaan in het bovenstroomse deel van de Nederlandse Rijntakken pas bij een breedte-diepte-verhouding van 100 of meer (Schoor & Sorber, 1998). Momenteel wordt onderzocht in hoeverre de situatie in het benedenrivierengebied hierbij aansluit.

Als gevolg van regulatie en normalisatie ten behoeve van veiligheid en scheepvaart ontstaan in de Nederlandse rivieren van nature geen nevengeulen meer. In het kader van natuurontwikkeling en rivierverruiming worden nevengeulen sinds enkele jaren wel aangelegd middels vergraving van de uiterwaard.

Vanuit ecologisch oogpunt zijn nevengeulen interessant omdat deze het fysiotoop ondiep (langzaam) stromend water vertegenwoordigen. Dit fysiotoop is in het huidige rivierengebied schaars als gevolg van eerder genoemde regulatie en normalisatie. Met name voor stroomminnende macrofauna- en vissoorten bieden nevengeulen belangrijke habitats. De levensgemeenschappen in een nevengeul komen voor het overige grotendeels overeen met die van de hoofdgeul.

2.1.2. Strang

Strangen zijn restanten van voormalige rivierlopen of nevengeulen. Een strang ontstaat doordat in een eerder meestromende geul aan bovenstroomse zijde door sedimentatie (meestal

zand) een drempel ontstaat. Afhankelijk van de hydrologische situatie kunnen strangen worden onderverdeeld in: éézijdig aangetakte strangen of geïsoleerde strangen (Schoor & Sorber, 1998).

Het al dan niet open blijven van een strang in een natuurlijke situatie wordt voornamelijk bepaald door de stroomsnelheden die bij hoogwater in de strang optreden. Als deze hoog zijn, zal de strang open blijven. De stroomsnelheden in de uiterwaarden zijn afhankelijk van lokale omstandigheden.

Eézijdig aangetakte strang

Een éézijdig aangetakte strang (of dynamische strang) staat aan één zijde, meestal benedenstrooms, in verbinding met de hoofdgeul. Hierdoor volgt het water in de strang de waterstandsschommelingen in de hoofdgeul. Pas bij hogere afvoeren (afhankelijk van hoogteligging drempel of uiterwaard) stroomt het water mee met de rivier.

Qua levensgemeenschappen lijken deze strangen op de hoofdgeul als gevolg van de open verbinding met de hoofdgeul. De meerwaarde van deze aangetakte strangen is vooral het gevolg van de luwere omstandigheden in deze wateren ten opzichte van de hoofdgeul. Stroming en golfslag ten gevolge van scheepvaart zijn hier veelal afwezig. Aangetakte wateren (waaronder strangen) vervullen vaak een functie als paai- en opgroeigebied voor allerlei organismen.

Geïsoleerde strang

Een geïsoleerde strang staat bij normale omstandigheden niet meer in verbinding met de hoofdgeul. Afhankelijk van de hoogteligging staat een dergelijke strang bij hoogwater in meer of mindere mate nog onder invloed van de rivier. De mate waarin deze wateren verlanden is afhankelijk van de resterende rivierdynamiek.

Bij geringe rivierdynamiek (<20 d/j overstroomd) neemt de invloed van rivierwater op de ecologisch ontwikkelingen sterk af. Kwel, neerslag en/of verdamping worden dan bepalende abiotische factoren die tot karakteristieke natuurwaarden kunnen leiden.

2.1.3. Getidekreek (info: van Oevelen et al, 2000)

In vergelijking met voorgaande geultypen wijkt een getidekreek sterk af, zowel qua ontstaansgeschiedenis als qua vormgeving en structuur. Een getidekreek loopt meestal taps toe en is doorgaans niet evenwijdig aan het hoofdwatersysteem georiënteerd maar haaks erop. Belangrijke kenmerken van een natuurlijk getidekrekensysteem zijn: hiërarchische opbouw (vertakkingen), redelijk hoge dichtheid van geulen, onderdelen met intergetijd karakteristiek en geulwanden met een flauwe helling.

In een natuurlijke situatie ontstaat een krekensysteem doordat in een sedimentatiegebied door erosie door aflopend water een geul ontstaat. Voor een natuurlijk proces van kreekvorming is voldoende sedimentaanvoer noodzakelijk. Als gevolg van het getij en de hiermee gepaard gaande grofweg 2-maal daagse overspoeling van het intergetijdengebied wordt dit gebied tijdens de vloedstroom opgehoogd, terwijl de ebstroom erosiegeulen in deze ophogingen trekt. Op een gegeven moment komt het gebied hoger in de getijdenzone te liggen, vermindert de sedimentatie en wordt erosie het belangrijkste kreekvormende proces.

Getijdekreken en hun levensgemeenschappen vormen een karakteristiek onderdeel van het intergetijdengebied. Door de periodieke overspoeling en de variatie hierin ten gevolge van de hoogteligging en de variatie in zoutgehalte binnen een estuarium wordt het intergetijdengebied gekenmerkt door specifieke natuurwaarden.

3. INPASSING GEULTYPEN IN STUDIEGEBIED

In een natuurlijk riviersysteem zijn erosie en sedimentatie de vormende processen die aan de basis staan voor een differentiatie aan fysiotopen en de daaropvolgende ecologische ontwikkelingen. De huidige watersystemen zijn sterk beïnvloed door menselijke activiteiten, waardoor de natuurlijke rivierkundige processen sterk aan banden zijn gelegd. Voordat ingegaan zal worden op de wensen en eisen die aan de verschillende geultypen gesteld kunnen worden, zal eerst nagegaan worden waar binnen het beheergebied van RWS Dir. Zuid-Holland de abiotische randvoorwaarden voorhanden zijn om bepaalde geultypen te ontwikkelen of, na vergraving, enigszins “duurzaam” in stand te houden. Gelet op het karakter van de studie betreft het een globale analyse.

Achtereenvolgens zullen de volgende onderdelen aan bod komen:

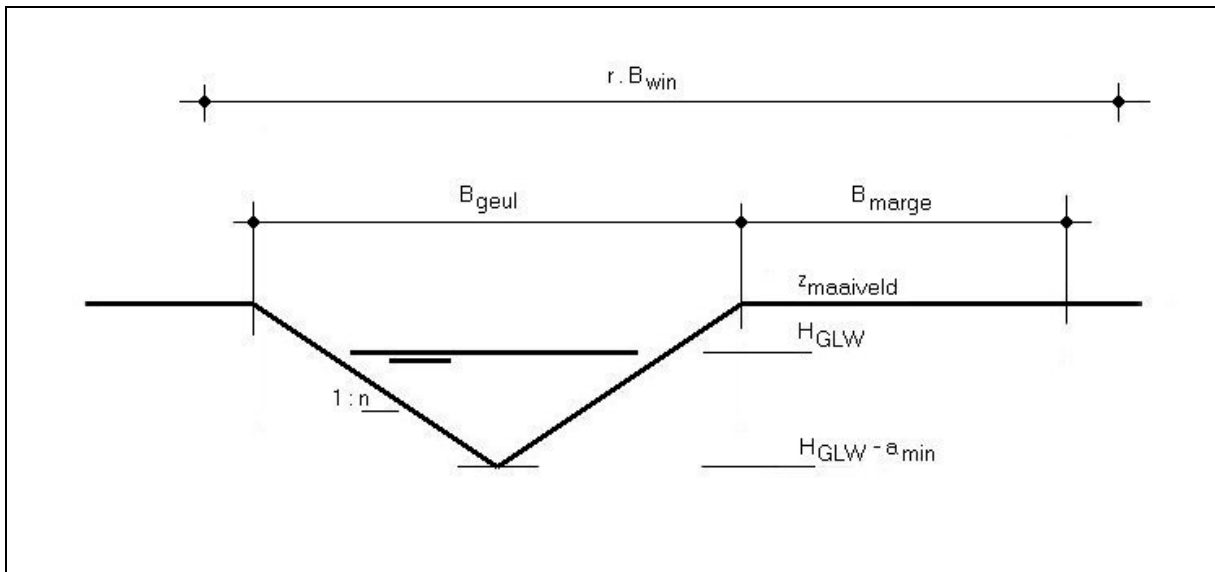
- ruimte voor inpassing geul;
- nevengeul: aspect stroming;
- indicatie getijslag, stroomkentering en stroomsnelheid.

3.1. Beschikbare en benodigde ruimte (breedte) t.b.v. geulen

Een van de factoren die bepalend is voor het al of niet kunnen aanleggen van geulen, is de beschikbare breedte van het winterbed ten opzichte van de benodigde breedte. Dit wordt uitgewerkt voor parallel aan de hoofdgeul georiënteerde geulen (nevengeulen en strangen). Daar waar in deze paragraaf gesproken wordt over nevengeulen worden dus ook de strangen bedoeld. Om te beoordelen of het winterbed breed genoeg is om een nevengeul van voldoende afmetingen aan te leggen, wordt uitgegaan van een nevengeul met een V-vormig dwarsprofiel als in Figuur 2, en wordt de volgende procedure gevolgd:

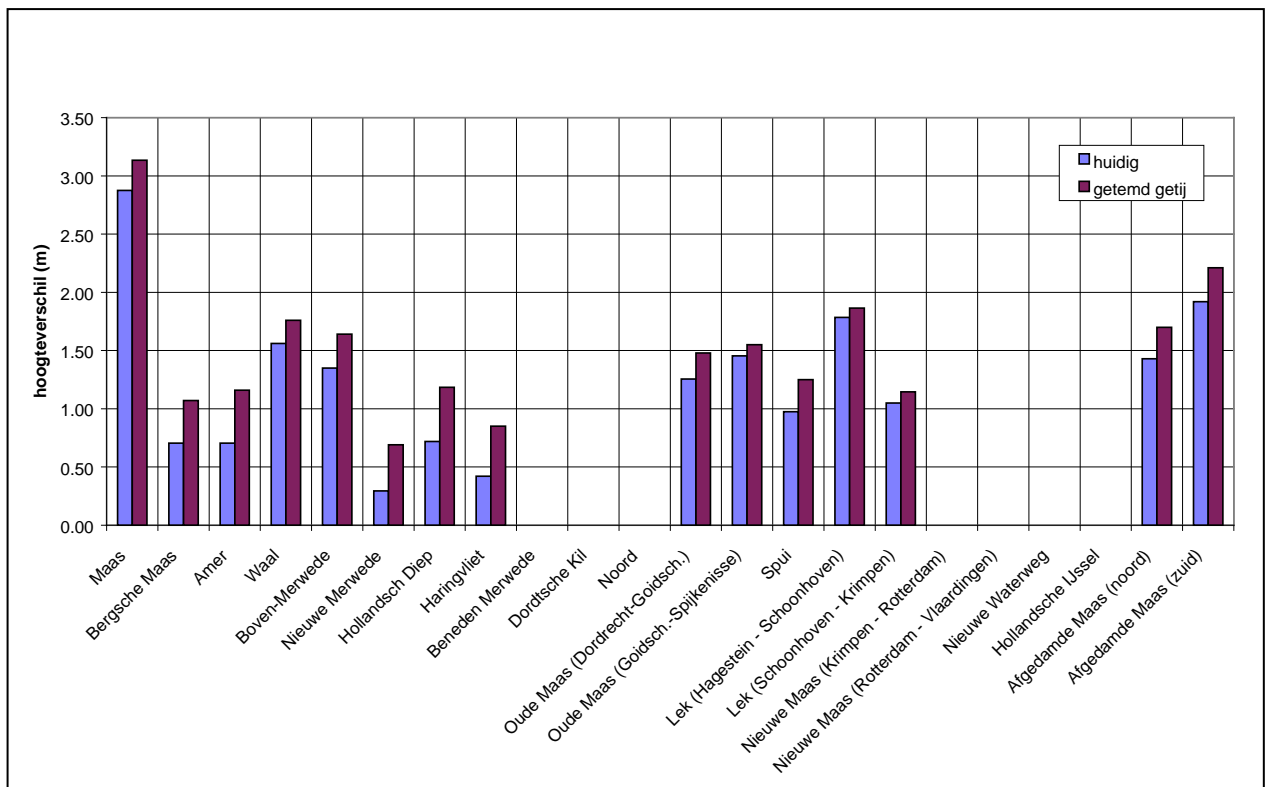
1. Bepaal voor ieder riviertraject het GLW en de gemiddelde maaiveldhoogte van het winterbed.
2. Kies een gewenste minimumdiepte voor de nevengeul ten opzichte van GLW. Dit geeft de ligging van het diepste punt van de geul (thalweg) ten opzichte van NAP.
3. Bepaal het hoogteverschil tussen het maaiveld en de thalweg. Dit is de diepte van de ingraving.
4. Kies een gewenst oevortalud voor de nevengeul. Samen met de diepte van ingraving is daarmee de benodigde breedte van de geul op maaiveld vastgelegd.
5. Kies een gewenste veiligheidsmarge tussen de geul en de bandijk en/of constructies (vereist vanuit waterbeheer om bij erosie constructie te beschermen). Samen met de breedte van de geul is daarmee de totale benodigde breedte vastgelegd.

In deze procedure moeten keuzes gemaakt worden voor de minimumdiepte, het oevortalud, en de veiligheidsmarge. Door deze waarden te variëren ontstaat een beeld van de gevoeligheid van de kansen voor nevengeulen voor deze parameters.



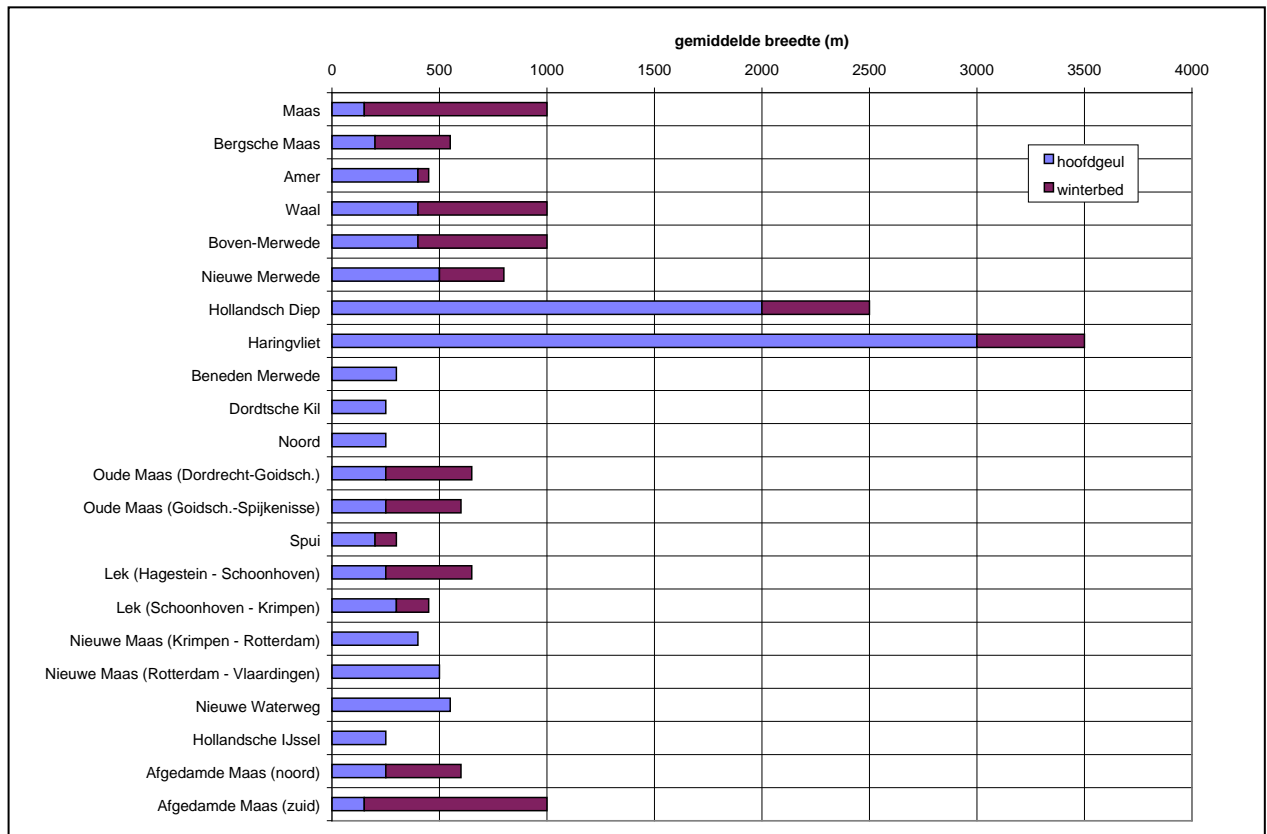
Figuur 2. Principeschets dwarsprofiel nevengeul.

De hoogte van het GLW is ontleend aan de dataset die met ZWENDL is aangemaakt voor de MER-Haringvliet. Het GLW per riviertraject is het gemiddelde van het GLW van de waterstandsmmeetpunten die het traject begrenzen. De gemiddelde maaiveldhoogte van het winterbed is ontleend aan topografische kaarten. Het verschil tussen beiden is in Figuur 3 uitgezet.



Figuur 3. Hoogteverschil per riviertraject tussen maaiveld en GLW voor de huidige situatie en bij getemd getij.

De benodigde breedte dient afgezet te worden tegen de beschikbare breedte. Aan de hand van topografische kaarten is per riviertraject de totale breedte en de breedte van de hoofdgeul geschat, zie Figuur 4. Het verschil tussen beiden is de breedte van het winterbed, en in principe dus ook de breedte die beschikbaar is voor nevengeulen. Echter, het winterbed is meestal verdeeld over beide oevers, dus de voor nevengeulen beschikbare breedte varieert tussen de 50 en 100% van de totale winterbedbreedte. Dit wordt meegenomen als reductiefactor, resp. 0.5 en 1.0.



Figuur 4. Indicatieve breedte zomerbed en winterbed per riviertraject.

Het resultaat van deze exercitie is samengevat in Tabel 1. Voor de verschillende reductiefactoren voor de breedte van het winterbed (1,0 en 0,5), gewenste oevertaluds (1:5 en 1:20), gewenste minimum geuldieptes ten opzichte van GLW (0,50 m en 1,00 m), en veiligheidsmarges (50 m en 150 m) is aangegeven of de beschikbare breedte meer of minder is dan de benodigde breedte voor de aanleg van de nevengeul. Riviertrajecten zonder uiterwaarden zijn niet in de tabel opgenomen. Naast de huidige situatie is ook bekeken hoe de kansen voor nevengeulen zich wijzigen bij een beheer van de Haringvliet-sluizen volgens de getemd getij variant.

Op basis van de figuren en de tabel zijn de volgende conclusies te trekken:

- De benodigde breedte voor een nevengeul, exclusief veiligheidsmarge, ligt in de orde van 50 tot 100 m.

- De kansen voor een nevengeul zijn nauwelijks afhankelijk van het gewenste oevertalud van de geul: de keuze voor een steil oevertalud (1:5) levert geen extra locaties op ten opzichte van een flauw oevertalud (1:20).
- De kansen voor een nevengeul zijn evenmin afhankelijk van de minimum diepte van de geul ten opzichte van GLW: een kleine diepte (0,50 m) levert geen extra locaties op ten opzichte van een grote diepte (1,00 m).
- Nevengeulen langs de Lek zijn nauwelijks mogelijk. Dit wordt veroorzaakt door een smal winterbed in combinatie met een laag GLW ten opzichte van het maaiveld.
- Langs het Spui en de Amer is het winterbed te smal voor wat voor nevengeul dan ook.
- Langs de Maas, de Waal en de Boven-Merwede ligt het maaiveld relatief hoog ten opzichte van GLW, maar omdat het winterbed breed is, is het toch mogelijk om hier nevengeulen aan te leggen.
- Langs de Afgedamde Maas zuid is voldoende ruimte aanwezig. Maar vanuit hoogwater-optiek is hier alleen sprake van waterberging. Geulen dragen hier als maatregel slechts weinig aan bij.

reductie breedte winterbed (-)	1,0								0,5							
	5				20				5				20			
	0,50		1,00		0,50		1,00		0,50		1,00		0,50		1,00	
Veiligheidsmarge (m)	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150
Maas	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	x	-
Bergsche Maas	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Amer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Waal	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
Boven Merwede	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	x	-
Nieuwe Merwede	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Hollandsch Diep	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
Haringvliet	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	x	-
Oude Maas (Dord.-Goid.)	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Oude Maas (Goid.-Spijk.)	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Spui	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lek (Hag. - Schoonhoven)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lek (Schoonhoven-Krimpen)	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Afgedamde Maas (noord)	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
Afgedamde Maas (zuid)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-

Tabel 1. Benodigde breedte versus beschikbare breedte (- = geen geul mogelijk, zowel huidig als bij getemd getij; x = wel mogelijk huidig, niet bij getemd getij; + : zowel huidig als bij getemd getij geul mogelijk).

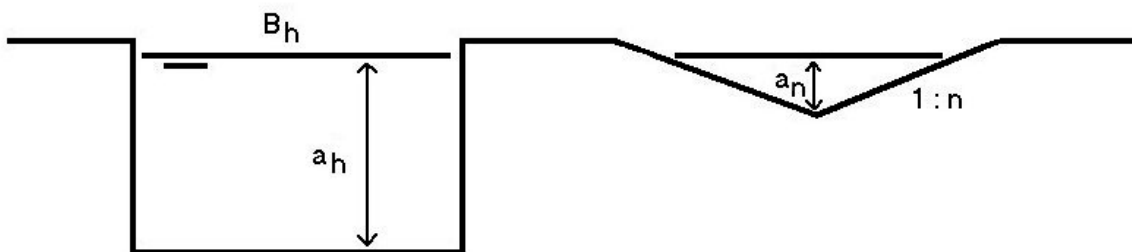
Het introduceren van getemd getij in het benedenrivierengebied zorgt met name aan de zuidrand voor lagere GLW-standen. Dit betekent dat bij getemd getij een geul daar iets dieper aangelegd moet worden om dezelfde minimumdiepte als in de huidige situatie te garanderen. Bij gelijkblijvende oevertaluds zal de geul op maaiveld dus iets breder zijn. Omgekeerd geldt dat als men op getemd getij wil anticiperen geulen nu al met overdiepte aangelegd zouden

moeten worden. Bij volledig herstel van het getij (variant Stormvloedkering) zou met name op de Amer, Hollandsche Diep en Haringvliet het GLW nog eens met circa 0,10 m afnemen ten opzichte van getemd getij.

3.2. Schatting stroomsnelheid nevengeul uit stroomsnelheid hoofdgeul

Aan de stroomsnelheden in de nevengeul worden zekere eisen gesteld vanuit de ecologie (stroomminnende soorten) en de morfologie (erosie-/sedimentatieprocessen). Een schatting van de haalbaarheid van deze snelheden kan verkregen worden uit de gemeten of berekende stroomsnelheden van de hoofdgeul ter plaatse.

Uitgangspunt is een rechthoekig dwarsprofiel voor de hoofdgeul en een V-vormig dwarsprofiel voor de nevengeul (zie Figuur 5).



Figuur 5. Dwarsprofiel hoofdgeul en nevengeul.

Ook in een getijgebied geldt dat voor de stroomsnelheden in de nevengeul het verhang en de wrijving de dominante termen zijn in de bewegingsvergelijking. De verhouding tussen de snelheden is dan:

$$\frac{u_n}{u_h} = \frac{C_n}{C_h} \cdot \sqrt{\frac{R_n \cdot i_n}{R_h \cdot i_h}}$$

waarin:

- u = stroomsnelheid
- C = Chezy waarde (hydraulische ruwheid)
- R = hydraulische straal
- i = verhang
- n = nevengeul
- h = hoofdgeul

Het verhang over de nevengeul wordt gelijk gesteld aan dat van de hoofdgeul. De hydraulische straal is:

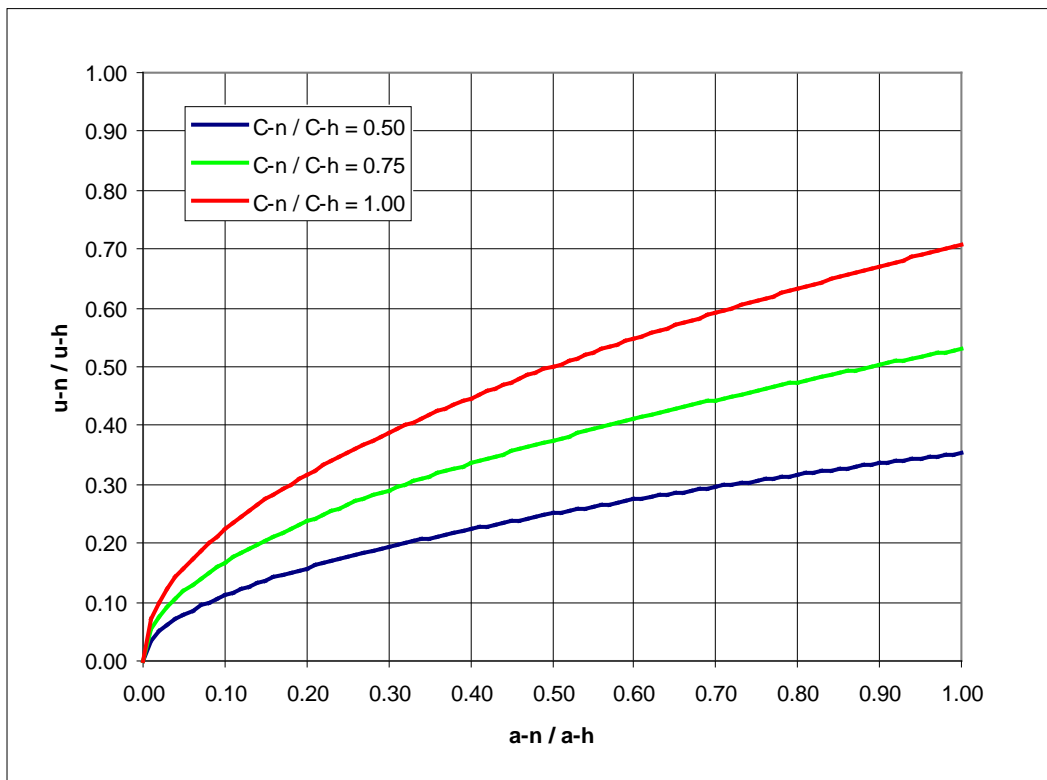
$$R_h = \frac{a_h \cdot B_h}{B_h + 2 \cdot a_h} \approx a_h$$

$$R_n = \frac{n \cdot a_n^2}{2 \cdot a_n \cdot \sqrt{1+n^2}} \approx \frac{1}{2} \cdot a_n$$

De verhouding tussen de snelheden vereenvoudigd daarmee tot:

$$\frac{u_n}{u_h} = \frac{C_n}{C_h} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \frac{a_n}{a_h}}$$

In Figuur 6 is deze dimensieloze relatie uitgezet. Bij een gegeven snelheid in de hoofdgeul (u_h) en schattingen voor de verhoudingen van diepte (a) en ruwheid (C) van hoofdgeul en nevengeul, is de snelheid in de nevengeul te berekenen. Stel de C -waarde van de hoofdgeul is $C_h = 40 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ en van de nevengeul $C_n = 30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, dan is de verhouding $C_n / C_h = 0,75$ (groene lijn). De diepteverhouding varieert per riviertraject, omdat vooral de diepte van de hoofdgeul variabel is. Voor de meeste trajecten is $a_h = 4$ tot 6 m een goede schatting voor de diepte van de hoofdgeul, de diepte van de nevengeul wordt geschat op $a_n = 1$ m. De diepteverhouding komt daarmee op $a_n / a_h = 0,17$ tot $0,25$ (x-as), en dus is de snelheidsverhouding $0,22$ tot $0,26$ (y-as), afgerond $0,24$. Is bijvoorbeeld de snelheid in de hoofdgeul gelijk aan $u_h = 0,80 \text{ m/s}$, dan is de snelheid in de nevengeul gelijk aan $u_n = 0,24 \times 0,80 = 0,19 \text{ m/s}$. In werkelijkheid zal de snelheidsverhouding nog iets lager liggen, omdat geen rekening is gehouden met lokale energieverliezen in de nevengeul. Dit zou verdisconteerd kunnen worden door voor de nevengeul een lagere C -waarde te kiezen. Ook is de snelheidsverhouding lager doordat de nevengeul veelal langer is dan de hoofdgeul en het het verhang over de nevengeul dus ook minder is.



Figuur 6. Snelheidsverhouding hoofdgeul en nevengeul.

3.3. Criteria voor getijslag, stroomkentering en stroomsnelheid

De hydrologische karakteristieken zijn voor een belangrijk deel bepalend voor de ontwikkelingen van en in een geul. Met de dataset waterbewegingsparameters die met ZWENDL voor de MER-Haringvliet is ontwikkeld, is voor iedere locatie in het benedenrivierengebied een inschatting gemaakt van de aspecten getijslag, stroomkentering en stroomsnelheid. Omdat in de dataset alleen snelheden in de hoofdgeul zijn gegeven, moet een schatting worden gemaakt voor de snelheid in de nevengeul. Conform de afleiding in paragraaf 3.2. wordt de stroomsnelheid in de nevengeul geschat op 25% van die in de hoofdgeul. Het resultaat van de toetsing is weergegeven in Tabel 2 (nevengeulen) en Tabel 3 (getijdekreken).

locatie	getijslag	Stroomkentering	Stroomsnelheid
MAAS - BERGSCHE MAAS – AMER			
Lith dorp	+	-	--
Heesbeen	+	--	--
Keizersveer	-	--	--
Moerdijk	+	--	--
WAAL - NIEUWE MERWEDE - HOLLANDSCH DIEP – HARINGVLIET			
Zaltbommel	++	++	-
Vuren	+	++	-
Werkendam buiten	-	++	--
Moerdijk	+	--	--
Rak noord	-	--	--
Hellevoetsluis	-	--	--
BENEDEN MERWEDE - OUDE MAAS			
Werkendam buiten	-	++	--
Dordrecht	--	--	--
Goidschalxoord	--	--	--
Spijkenisse	--	--	--
LEK - NIEUWE MAAS - NIEUWE WATERWEG			
Hagestein beneden	--	--	--
Schoonhoven	--	--	--
Krimpen a/d Lek	--	--	--
Rotterdam	--	--	--
Vlaardingen	--	--	--
Maassluis	--	--	--
Hoek van Holland	--	--	--
HOLLANDSCHE IJSSEL			
Gouda brug	--	--	-
Krimpen a/d IJssel	--	--	-
AFGEDAMDE MAAS			
Afgedamde Maas Noord			
Afgedamde Maas Zuid			

Tabel 2. Scoretabel voor nevengeulen, huidige situatie.

Uit Tabel 2 valt de conclusie te trekken dat in het benedenrivierengebied geen locaties zijn die optimaal zijn voor nevengeulen. De beperkende factor is de minimum stroomsnelheid, die op geen van de locaties gehaald wordt. Zelfs bij Gameren, tussen Zaltbommel en Vuren, hadden volgens deze aanpak geen nevengeulen aangelegd mogen worden.

locatie	getijslag	Stroomkentering	stroomsnelheid
MAAS - BERGSCHE MAAS – AMER			
Lith dorp	-	--	n.v.t..
Heesbeen	-	--	n.v.t..
Keizersveer	+	--	n.v.t..
Moerdijk	-	--	n.v.t..
WAAL - NIEUWE MERWEDE - HOLLANDSCH DIEP - HARINGVLIET			
Zaltbommel	--	--	n.v.t..
Vuren	-	--	n.v.t..
Werkendam buiten	+	--	n.v.t..
Moerdijk	-	--	n.v.t..
Rak noord	-	--	n.v.t..
Hellevoetsluis	-	++	n.v.t..
BENEDEN MERWEDE - OUDE MAAS			
Werkendam buiten	+	--	n.v.t..
Dordrecht	++	--	n.v.t..
Goidschalxoord	++	++	n.v.t..
Spijkensisse	++	++	n.v.t..
LEK - NIEUWE MAAS - NIEUWE WATERWEG			
Hagestein beneden	++	--	n.v.t..
Schoonhoven	++	--	n.v.t..
Krimpen a/d Lek	++	+	n.v.t..
Rotterdam	++	++	n.v.t..
Vlaardingen	++	++	n.v.t..
Maassluis	++	++	n.v.t..
Hoek van Holland	++	++	n.v.t..
HOLLANDSCHE IJSSEL			
Gouda brug	++	++	n.v.t..
Krimpen a/d IJssel	++	++	n.v.t..
AFGEDAMDE MAAS			
Afgedamde Maas Noord			
Afgedamde Maas Zuid			

Tabel 3. Scoretabel voor getijdekreken, huidige situatie.

Uitsluitend kijkend naar de waterbeweging moeten locaties voor getijdekreken vooral gezocht worden langs de Oude Maas, de Nieuwe Maas, Nieuwe Waterweg, Spui en de Hollandsche IJssel. Aanvullende eisen op het gebied van (gebrek aan) beschikbare ruimte en bodemsamenstelling kunnen ertoe leiden dat toch geen kreken nagestreefd kunnen worden. Met de introductie van een ander beheer van de Haringvliet-sluizen volgens de getemd getij variant zullen de mogelijkheden voor kreken toenemen. De getijslag is, behalve bij

Zaltbommel, dan nergens een beperkende factor meer. Voor wat betreft stroomkentering verbeteren de scores (alleen) op het Hollandsch Diep en het Haringvliet.

4. DIMENSIONERING GEULTYPEN

In het voorgaande hoofdstuk zijn enkele aspecten besproken die mede bepalend kunnen zijn bij de keuze welk geultype waar nagestreefd kan worden. Nadat deze keuze is gemaakt komen in een volgende stap allerlei vragen naar voren aangaande het functioneren van een dergelijke geul. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de wensen en randvoorwaarden die vanuit een aantal invalshoeken aan het ontwerp van een geul gesteld kunnen worden.

4.1. Ecologische wensen en randvoorwaarden

In een natuurlijk systeem zijn hydro- en morfodynamiek de sturende factoren die het voorkomen van geschikte leefomstandigheden voor flora en fauna bepalen. Eenmaal gevestigde planten zullen (tot zekere hoogte) de genoemde processen gaan beïnvloeden. Tezamen met een eventueel gevoerd beheer leidt dit tot een grote variatie aan ontwikkelingsstadia in de tijd en ruimte. Voor deze verkenning zal ingegaan worden op enkele aspecten die de variatie in habitats voor flora en fauna mede bepalen en die middels inrichting in de vorm van geulen ingevuld kunnen worden. Hierbij zal een statische benadering (gefixeerde toestanden) gehanteerd worden en dus voorbij worden gegaan aan successie aspecten. Tevens blijven ecotoxicologische parameters of voedselweb-gerelateerde aspecten, die beiden van grote invloed op de kwaliteit van een habitat zijn, in deze eerste verkenning buiten beschouwing.

Om een grote diversiteit in soorten te bereiken dient het aantal habitats groot te zijn; er moet variatie aanwezig zijn:

- in stroming: snelstromend water is belangrijk voor de zuurstofvoorziening en voedselvoorziening voor macrofauna en vissen, langzaamstromend tot stagnant water voor vestigingsmogelijkheden voor planten.
- in oevervorm: steile oevers voor nestgelegenheid voor bv. ijsvogel, zandige kale oevers als foerageergebied voor bv. steltlopers, flauwe oevers met geleidelijk verlopende waterdiepte voor diverse waterorganismen o.a. waterplanten.
- in waterdiepte: ondiepe delen waar voldoende licht tot op de bodem doordringt voor groei van planten en macrofauna, diepere delen voor schuilplaatsen.
- in getij-invoel: de grote variatie in het dagelijks onder water lopen en droogvallen in een natuurlijke intergetijde zone zorgt voor een grote variatie in habitats en bijbehorende karakteristieke organismen.
- aanwezigheid van waterplanten: schuilgelegenheid voor vissen en macrofauna, paaigebied voor vissen, aanhechtingsplaats voor macrofauna, voedsel voor diverse organismen zoals watervogels.

De onderscheiden geultypen kunnen gekoppeld worden aan overeenkomstige ecotopen. Voor het studiegebied zijn het Benedenrivier-EcotopenStelsel (BES; Maas, 1997), het Rivier-EcotopenStelsel (Rademakers & Wolfert, 1994) en RWES-aquatich (vd Molen et al, 2000) (zie tabel 4) van belang. Deze classificaties stelen op dezelfde stuurvariabelen als voorheen genoemd: hydrodynamiek, morfodynamiek en beheer (en zoutgehalte). Hiermee wordt op een hoog abstractieniveau een eerste indicatie verkregen van de fysische randvoorwaarden en de daarbijbehorende mogelijke natuurwaarden die aan een bepaald geultype verbonden zijn. Voor een eerste invulling van het ontwerp van een geul zoals dat hier beoogd wordt, is dit echter onvoldoende. Een dergelijk ontwerp richt zich op de kwaliteit van een ecotoop en de

daaraan gekoppelde heterogeniteit in abiotische randvoorwaarden binnen een ecotoop. Hiertoe dient naar de specifieke habitateisen van soorten of soortgroepen gekeken te worden. Voor deze verkenning is dit ingevuld voor de flora, waarbij gebruik is gemaakt van de gegevens zoals opgenomen in het vegetatievoorspelmodel EMOE (Ecohydrologisch Model voor de Oevervegetatie van Estuaria (vd Rijt, 2000)), zie Tabel 5.

Aangezien de eisen van verschillende soorten sterk zullen variëren wordt tevens een indicatie verkregen van de grote (habitat)variatie die hierbij mogelijk is. De geformuleerde randvoorwaarden betreffen dan ook algemeenheden, afhankelijk van de locale omstandigheden is een verdere optimalisatie van het geulontwerp vanuit ecologisch oogpunt gewenst.

Tabel 4. koppeling onderscheiden geultypen aan overeenkomstige ecotopen volgens BES, RES en RWES-aquatich.

Geultype	BES-ecotoop	RES-ecotoop	RWES-aquatich ecotoop
Nevengeul, zonder getij	-	Wn-1, Wn-2	RnMx, RnOx
Nevengeul, met getij	Bo-groep, Eo-groep	Wn-3	-
1-zijdig aangetakte strang	-	Ws-1	RvDx, RvMx, RvOx
Geïsoleerde strang	-	Ws-2, Ws-3	RwDx, RwMx, RwOx
Getijdereek	Bo-groep, Eo-groep	Wn-3	GzKz, GoKz, GbKz

Hydrodynamiek

Een geul is grofweg te verdelen in: waterfase, amfibische zone / intergetijdezone en hoge oever. Over deze gradiënt ontstaat als gevolg van de hydrologische verschillen en de habitateisen van plantensoorten aan de hydrologie een vegetatiezonering van resp. waterplanten, via helofyten naar overstromingsgevoelige plantensoorten (zie Tabel 5). In het getijdengebied vormt de dagelijks fluctuerende waterstand de belangrijkste hydrologische factor, in het bovenrivieren deel de fluctuaties in rivierafvoer. In beide situaties geldt dat overspoelingsduur, frequentie en tijdstip van overspoeling belangrijke criteria zijn die de vegetatiezonering op de oever bepalen. Naast deze directe invloeden van overstroming op de groei en ontwikkeling van plantensoorten, zijn golfslag, bodemtype, gevoerd beheer, vraat door watervogels etc. van belang.

Tabel 5. Indicaties voor de ontwikkeling van verschillende vegetatiegemeenschappen t.o.v. GHW (uit: Wolters et al, in prep.).

	Vegetatietypen	kansrijke hoogtezone t.o.v. GHW getij 200 cm	kansrijke hoogtezone t.o.v. GHW getij 30 cm
getijkreken	onbegroeide getijkreek waterplantenvegetatie (gele plomp, schedefonteinkruid)	lager dan - 200 lager dan - 200	lager dan -30 -100/-40
onbegroeide platen	onbegroeide slik- of zandplaat pionierbegroeiing van waterpeper en blauwe waterereprijs (Polygono-Veronicetum anagallis)	-200/-50 -100/-50	-30/-20 -20/0
gorzen	Mattenbiesvegetatie (incl. Ruwe biesvegetatie) Biezenvegetatie met zeebies (Alismato-Scirpetum maritimi) Biezenvegetatie met driekantige bies (Alismato- Scirpetum scirpetosum triquetri) Biezenvegetatie met spindotterbloem (Alismato- Scirpetum calthetosum) Kleine lisdodde vegetatie (Typho-Phragmitetum typetosum angustifoliae) Spindotter-rietland (Typho-Phragmitetum calthetosum) Grote zeggevegetatie, Liesgrasvegetatie, Grote lisdoddevegetatie, Rietgrasvegetatie Rietruigte Natte strooiselruigten	-150/-50 -150/-50 -150/-50 -120/-70 -100/-50 -60/-10 -50/0 -10/0 0/+20	(-50/-30) -- -- -- -80/-30 -20/-10 -10/+10 -10/+20 +10/+40

Helling talud

De mate waarin hydrodynamische gradiënten in geulen tot uiting kunnen komen hangt o.a. af van de dimensionering van de geulen. Gelet op genoemde vegetatiezonering is de taludhelling hierbij een belangrijk onderdeel. De taludhelling bepaald de ruimtelijke maat (via hoogteligging) waarover hydrodynamische gradiënten tot uitdrukking gebracht kunnen worden. Immers, bij een flauw talud zijn de opeenvolgende vegetatiezones eerder breed genoeg om duurzame habitats aan andere organismen te bieden dan bij steile oevertaluds. In de praktijk zal dit vooral afhangen van de beschikbare ruimte voor de aanleg van de geul (zie ook par. 3.1.). Het ligt dan ook voor de hand eerder een bovengrens voor de hellingshoek op te geven. Wordt een oever steiler aangelegd, dan is dit voor de ontwikkeling van een oeverbegroeiing niet geschikt. Voor andere organismen kan een dergelijke oever echter wel weer geschikt zijn: b.v. steilranden voor ijsvogel en oeverzwaluw. In de reeds uitgevoerde inrichtingsprojecten varieert de hellingshoek van 1:5 tot meer dan 1:30. Als ondergrens wordt hier voorgesteld uit te gaan van een hellingshoek van minimaal 1:10.

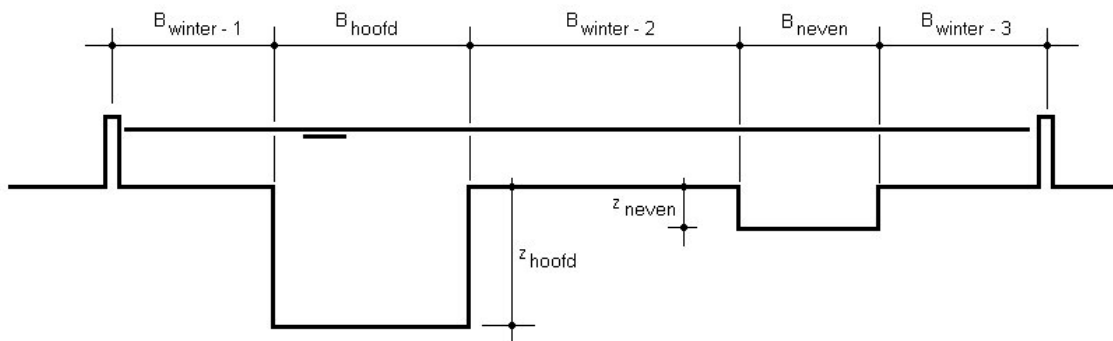
Getijkreken kennen veelal een grotere variatie in oevertalud. Als gevolg van de ontstaansgeschiedenis en de “evolutie” van dit geultype varieert het oevertalud doorgaans van steile taluds in erosiezones tot zeer flauwe taluds in de sedimentatiezone in de luwste delen van de kreek. Dit laatste geldt ook voor verlandings- of sedimentatiezones in strangen.

Opgemerkt dient te worden dat variatie in hellingshoek van de oever en onderwatertalud hier niet onder valt. Voor het tegengaan van verlanding kan het gewenst zijn het onderwatertalud steiler te maken, waardoor tevens een zone open water gegarandeerd blijft.

4.2. Effecten van nevengeulen op Maatgevend Hoogwater (MHW)

Nevengeulen leveren een verruiming van het doorstroomprofiel op en dragen daarmee bij aan het verlagen van de Maatgevende Hoogwaterstanden. Deze verlaging zal zich vooral manifesteren in situaties met hoge rivierafvoer. Bij hoge zeestanden zijn de stroomsnelheden veel lager en heeft het verruimen van het doorstroomprofiel dus minder effect. Het waterstandsverlagend effect van nevengeulen zal in deze paragraaf daarom alleen bepaald worden voor hoge rivierafvoer. Het op deze wijze berekende effect is te zien als een bovengrens. In het benedenrivierengebied worden de Maatgevende Hoogwaterstanden berekend door een statistische sommatie van een groot aantal combinaties van rivierafvoer en zeestand. Bij hoge zeestand en lage rivierafvoer is het waterstandsverlagend effect van een nevengeul verwaarloosbaar, maar deze situatie draagt wel bij aan de uiteindelijke MHW-stand.

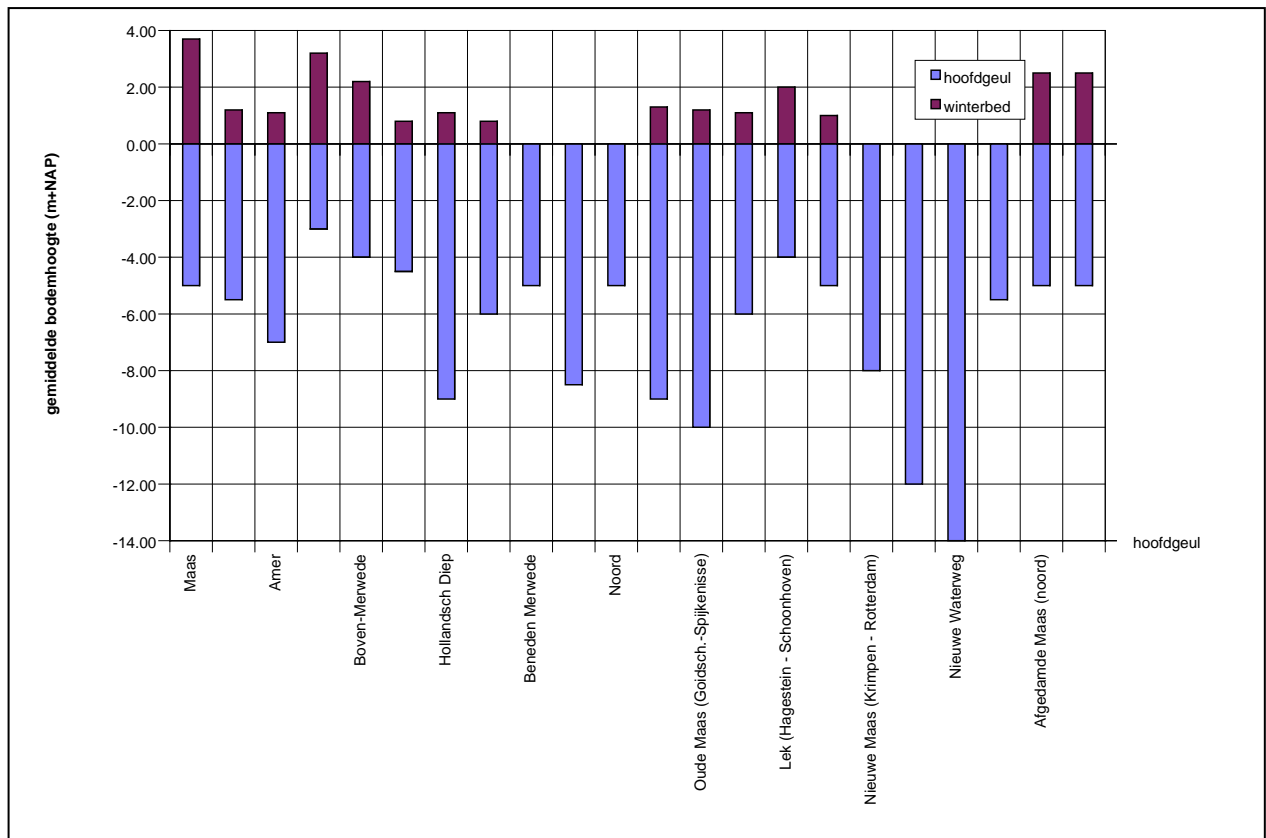
Voor elk riviertraject wordt een kenmerkend dwarsprofiel gedefinieerd als in Figuur 7. Omdat het gaat om een 1D-benadering worden de breedtes van de drie winterbedsecties ($B_{\text{winter} - 1}$, $B_{\text{winter} - 2}$ en $B_{\text{winter} - 3}$) bij elkaar opgeteld. Het onderscheid tussen eenzijdig en tweezijdig aangetakte geulen is bij hoogwater niet meer relevant, omdat een eventuele drempel in de geul dan al overstroomd is. Wel is van belang dat de geul parallel aan de overheersende stroomrichting ligt.



Figuur 7. Principeschets kenmerkend dwarsprofiel.

Voor de situatie zonder nevengeul wordt voor elk riviertraject een referentiewaterstand berekend die globaal hoort bij MHW-afvoeren op de bovenrivieren ($15000 \text{ m}^3/\text{s}$ Rijn en $3800 \text{ m}^3/\text{s}$ Maas) en een zeestand van $1,00 \text{ m} + \text{NAP}$. Weliswaar zijn de veiligheidsnormen, en dus de maatgevende afvoeren, in het benedenrivierengebied veelal hoger dan $1/1250$ per jaar, maar het waterstandsverlagend effect is bij een hogere afvoer nauwelijks anders. De breedte van hoofdgeul en winterbed zijn ontleend aan topografische kaarten, zie Figuur 4, net als de hoogteligging van het maaiveld. De bodemligging van de hoofdgeul is ontleend aan de ZWENDL-schematisatie van het Noordelijk Deltabekken, zie Figuur 8. Ook de ruwheden, het waterspiegelverhang, en de afvoerverdeling zijn gebaseerd op ZWENDL-berekeningen. Er is

niet gestreefd naar een nauwkeurige afregeling van waterstanden en afvoeren, omdat het slechts gaat om een orde-van-grootteschatting van het MHW-effect.

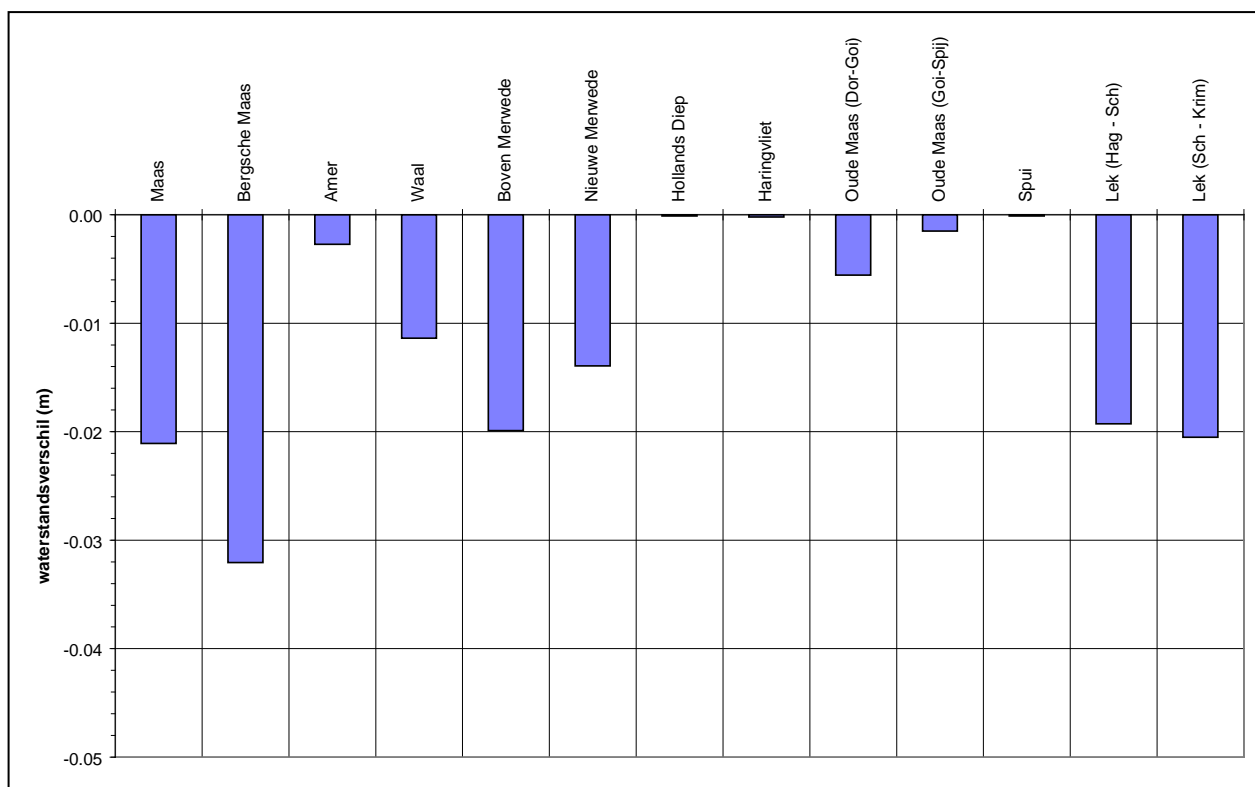


Figuur 8. Hoogteverschil uiterwaard - hoofdgeul.

Om het MHW-effect van een nevengeul langs de verschillende riviertrajecten te bepalen en onderling te kunnen vergelijken, wordt een standaardnevengeul gedefinieerd met een rechthoekig dwarsprofiel en de volgende afmetingen:

- Breedte : 50 m
- Diepte ten opzichte van maaiveld : 3,00 m
- Lengte : 2000 m
- Ruwheid : $30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

Deze standaardgeul is wellicht vanuit ecologisch oogpunt niet optimaal, maar daar wordt voor het moment aan voorbij gegaan. Omdat zelfs de grootste nevengeul toch slechts een relatief kleine reductie van de Maatgevende Hoogwaterstanden oplevert, is het MHW-effect evenredig met de afmetingen van de geul. Een twee keer zo brede geul geeft een twee keer zo grote waterstandsreductie. Voor deze standaardgeul is voor elk riviertraject het waterstandsverlagend effect berekend. Met een schematisatie als in Figuur 7 worden evenwichtssituaties berekend, dus in principe het effect van een oneindig lange nevengeul. Dit effect wordt gereduceerd door rekening te houden met de werkelijke lengte van de geul (in dit voorbeeld 2000 m) en het verhang ter plaatse. De maximum waterstandsverlaging, aan de bovenstroomse zijde van de geul, is uitgezet in Figuur 9.



Figuur 9. Verlaging waterstanden bij hoge rivierafvoer voor standaardnevengeul.

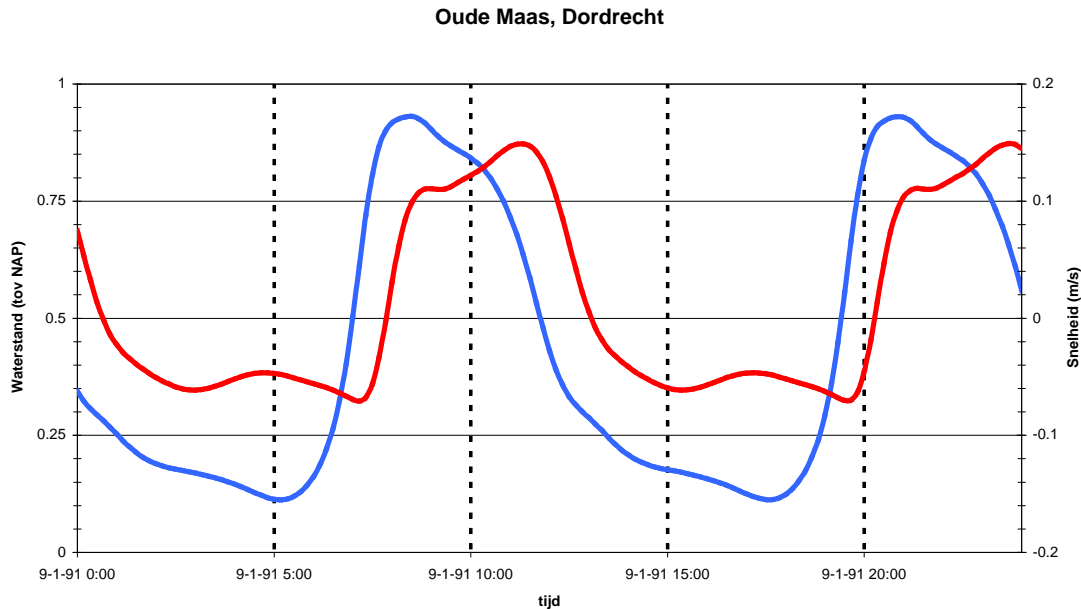
Uit de figuur valt de conclusie te trekken dat het waterstandsverlagend effect van nevengeulen bij hoge rivierafvoeren marginaal is. De meeste winst, maximaal enkele centimeters, is te behalen in het oostelijk deel van het gebied (Waal, Merwede, Lek en Maas). Op de overige trajecten is de verruiming naar verhouding te gering (Hollandsch Diep, Haringvliet), of is het verhang te klein (Spui). Bedacht dient te worden dat Figuur 9 het effect bij hoge rivierafvoer aangeeft, en dat het effect op de Maatgevende Hoogwaterstanden zelfs nog geringer is. In het benedenrivierengebied worden MHW-standen immers berekend uit een zekere combinatie van hoge zeestanden, waarbij nevengeulen geen effect hebben, en hoge rivierafvoeren. De hier toegepaste rechthoekige standaardgeul van 50 m x 3,00 m is dieper en heeft een groter doorstroomprofiel dan ecologisch wenselijk of noodzakelijk is. Bij een ecologisch relevante geul zal het waterstandsverlagend effect dus nog kleiner zijn dan Figuur 9 aangeeft. Uitzondering hierop zijn de Maas, de Waal en de Lek tot Schoonhoven, waar sprake is van diepe ingravingen, en de nevengeulen een iets groter doorstroomprofiel hebben dan de standaardgeul.

4.3 Beheer en onderhoud

Voor het aspect beheer en onderhoud wordt in deze eerste verkenning voornamelijk aandacht besteed aan een tweezijdig aangetakte geul. De reden hiervoor ligt in het feit dat een eenzijdig aangetakte geul alleen een kombergend effect heeft. De stroomsnelheden zijn dermate laag dat er continu sprake zal zijn van sedimentatie. Er ontstaat een situatie zoals in het Wantij en de Hollandsche IJssel. In het verleden zijn hier behoorlijke pakketten slib ontstaan.

Wanneer een tweezijdig aangetakte geul nieuw gegraven wordt, zal de bodem voornamelijk uit zandig materiaal bestaan waar zich na verloop van tijd een sliblaag bovenop kan vormen. Inzicht in de snelheid waarmee dit gebeurt geeft een eerste idee omtrent de te verwachten onderhoudskosten. De vorming, danwel het afwezig blijven van een sliblaag is voor bepaalde organismen een voorwaarde om te kunnen overleven. Afhankelijk van de gewenste ecologische ontwikkeling kan dit een voordeel danwel nadeel opleveren. Inzicht in de ontwikkeling van de sliblaag is dus ook van belang voor de ecologische ontwikkeling.

In tegenstelling tot de bovenrivieren, waar bij een bepaalde (constante) afvoer de snelheid gelijk blijft, geldt voor de benedenrivieren dat de snelheid varieert door de invloed van het getij. De variatie door het getij (orde halve dag) verloopt sneller dan de variatie in afvoer (orde dagen). Ter illustratie is het snelheidsverloop in de hoofdgeul van de Oude Maas ter hoogte van Dordrecht weergegeven in figuur 10.



Figuur 10. Verloop waterstand en snelheid in de hoofdgeul van de Oude Maas ter hoogte van Dordrecht bij standaard getijperiode en gemiddelde Bovenrijn-afvoer (2200 m³/s)

Dit maakt het afleiden van vuistregels en ontwerpcriteria voor sedimentatie (en erosie) van slib lastig. Om inzicht te krijgen in het sedimentatiepatroon op de verschillende riviertakken is de volgende aanpak gevolgd. Op basis van een gemiddelde getij situatie en een gemiddelde afvoer is het snelheidsverloop op een aantal locaties in het benedenrivierengebied berekend met een waterbewegingsmodel (1D). Sedimentatie treedt op wanneer de (absolute) stroomsnelheid kleiner is dan een bepaalde kritieke waarde. Erosie treedt op wanneer de absolute stroomsnelheid groter is dan een bepaalde kritieke waarde. Deze kritieke stroomsnelheid is onder meer afhankelijk van de mate van consolidatie van het gesedimenteerde slib.

De waarden voor kritieke erosie- en sedimentatiesnelheden zijn moeilijk te bepalen. Op basis van veldmeting, lab-experimenten en ervaringen uit modellen zijn waarden afgeleid die reële uitkomsten voor het Haringvliet en het Hollandsch Diep geven. Deze waarden zijn ook gehanteerd bij een modelstudie naar sedimentatie en erosie in nevengeulen langs de Waal. De verwachting is dat voor nevengeulen in een getij-gedomineerd systeem deze waarden dichter bij elkaar zullen liggen, omdat binnen een enkele getijperiode slib kan worden afgezet, weer kan worden opgepakt en elders worden neergelegd (pers. mededeling D. Ludikhuizen). Hoeveel deze waarden zullen afwijken van de “gangbare” waarden is vooralsnog moeilijk te zeggen, omdat de sterkte van de bodem in hoge mate bepaald wordt door lokale omstandigheden. Dit is een aspect dat bij de monitoring van nevengeulen meegenomen zou kunnen worden. Voor deze eerste verkenning zijn twee sets instellingen aangehouden voor de kritische erosie- en sedimentatiesnelheid (zie tabel 6). De overige procesconstanten zijn gelijk gehouden.

Tabel 6. Gehanteerde instellingen voor bepaling slibgedrag.

Procesconstanten	eenheid	set 1	set 2
$V_{\text{sed, kritisch}}$	m/s	0.25	0.3
$V_{\text{erosie, kritisch}}$	m/s	0.35	0.5
Valsnelheid	m/dag	10	10
Erosieconstante (Me)	kg/m ² d	0.5	0.5

De stroomsnelheid in de nevengeul is een afgeleide van de stroomsnelheid in de hoofdgeul (zie paragraaf 3.2.). Op basis van de lokale omstandigheden zou voor het benedenrivierengebied van een factor van ¼ uitgegaan moeten worden. Het ontwerp van de nevengeul is echter bepalend. Om een bandbreedte aan te geven is naast de factor ¼ (B) ook een factor ½ (A) aangehouden.

Koppeling van deze factoren en eerder genoemde sets van instellingen (Tabel 6) levert vier scenario's op. Bij deze scenario's is voor een aantal locaties in het benedenrivierengebied gescoord op kans op sedimentatie dan wel erosie (Tabel 7).

++	=	sterke sedimentatie (orde: meerdere dm /j)
+	=	matige sedimentatie (orde: enkele dm /j)
+/-	=	nauwelijks sedimentatie, maar geen erosie (orde: enkele cm /j)
-	=	lichte erosie
--	=	hoofdzakelijk erosie

Tabel 7. Indicatie mate van aanslibbing in nevengeulen in het benedenrivierengebied.

	set 1A	set 1B	set 2A	set 2B
Spijkenisse	-	+	+	++
Goidschalxoord	-	+	+	++
Dordrecht	+	+	++	++
Gouda brug	+/-	+	+	++
Krimpen a/d IJssel	++	++	++	++
Krimpen a/d Lek	+/-	++	+	++
Schoonhoven	++	++	++	++
Hagestein	-	+	+	++
Moerdijk	++	++	++	++
Keizersveer	++	++	++	++
Heesbeen	++	++	++	++
Lith	+/-	++	+	+
Werkendam	+	+	+	+
Vuren	--	+	+/-	+
Zaltbommel	--	+/-	--	+/-
Tiel	--	+/-	--	+/-

Op basis van deze analyse kan het volgende worden geconcludeerd (NB: gebaseerd op gemiddelde omstandigheden):

- De kans op sedimentatie op de Waal (Vuren, Zaltbommel en Tiel) is onwaarschijnlijk. Zelfs bij de aanname dat de stroomsnelheden in de nevengeul $\frac{1}{4}$ zijn van de snelheid in de hoofdgeul treedt geen sedimentatie op.
- Op de Lek (Schoonhoven) en de Maas (Keizersveer en Heesbeen) is de kans op sedimentatie zeer groot. Hetzelfde geldt voor het Hollandsch Diep. Ook bij vrij hoge stroomsnelheden (set 1A) treedt nog sedimentatie onder gemiddelde omstandigheden op. Bij extreme afvoeren kan erosie optreden, waardoor de opgebouwde slibbige bodem kan wegspoelen. Echter, na verloop van tijd zal door sedimentatie weer een slibbige bodem opgebouwd worden.
- Op de Hollandsche IJssel is de kans op erosie verwaarloosbaar. De Hollandsche IJssel is een doodlopende tak en heeft voor de afvoer van Rijnwater alleen een kombergende functie. Erosie treedt voornamelijk op door scheepvaart. In de oeverzone waar een nevengeul aantakt zal dit verwaarloosbaar zijn. Bij Gouda zal de sedimentatie groter zijn dan aan de monding van de Hollandsche IJssel bij Krimpen. Dit stemt overeen met de informatie die boringen in het kader van de sanering van de Hollandsche IJssel geven. De slibpakketten bij Gouda zijn groter dan bij de monding.
- Langs de Oude Maas is het door de vormgeving van de nevengeul mogelijk om de aanslibbing te sturen via de stroomsnelheid in de nevengeul. Bij de instelling van de procesparameters volgens set 1 is rekening gehouden met het feit dat, door het neerleggen en weer oppakken van sediment door de getijstroming, weinig kans op consolidatie is. Hierbij treedt naast sedimentatie gedurende dezelfde tijd erosie op. Dit slaat echter snel om

in netto sedimentatie zodra de stroomsnelheden in de nevengeul lager zijn (tot een kwart van de snelheid in de hoofdgeul).

- Voor de Nieuwe Merwede (Werkendam) is lastig te zeggen wat voor bodem zich zal ontwikkelen. Dit gebied ligt op de overgang van geen sedimentatie naar netto sedimentatie in het Hollandsch Diep. Afhankelijk van de vormgeving van de nevengeul en de frequentie waarin hoogwaterperioden voorkomen kunnen slibpakketten volledig verdwijnen. Bij uitblijven van hoogwaters zal echter sedimentatie overheersen waardoor op termijn de geul kan aanslibben.

Bij deze eerste opzet is voor de eenvoud uitgegaan van gemiddelde omstandigheden. Dit zegt iets over de mogelijkheid van het al dan niet ontstaan van een sliblaag. De uiteindelijke sliblaag die zal ontstaan wordt vooral bepaald door de duur van sedimentatieperioden, de frequentie waarmee deze worden afgewisseld door erosie en de intensiteit van erosie. Dit laatste is afhankelijk van de stroomsnelheid. Naarmate de stroomsnelheid hoger is zal de erosiesnelheid toenemen. De grootste erosiefluxen zullen optreden bij de hogere afvoeren.

De veranderingen die een beheer van de Haringvlietsluizen volgens de Getemd Getij-variant heeft op de mate van aanslibbing zal met name veroorzaakt worden door veranderingen in de locale stroomsnelheid. Een alternatief beheer van de Haringvlietsluizen heeft vooral invloed op de stroomsnelheden in de Zuidrand (en in de monding van het Haringvliet). Bij zowel eb als vloed nemen de stroomsnelheden toe. In de Noordrand is de invloed op de stroomsnelheid echter nauwelijks merkbaar, evenals meer bovenstrooms op de Merwedede. Daarnaast treedt een verschuiving van de stroomkentering op, maar dit heeft geen invloed op de mate van aanslibbing. Wanneer deze conclusies uit de MER studie naast de resultaten voor deze vuistregels gelegd worden dan is de verwachting dat alleen langs de Oude Maas en de Nieuwe Merwede Getemd Getij van invloed kan zijn op de mate van aanslibbing. In beide gevallen zal deze afnemen ten opzichte van de huidige situatie doordat snelheden zullen toenemen.

5. SLOTBESCHOUWING EN AANBEVELINGEN

Handhaving van de veiligheid tegen overstroming staat momenteel en voor de nabije toekomst hoog op de beleids- en uitvoeringsagenda. De uitdaging vanuit integraal waterbeheer is mogelijke maatregelen gericht op dit veiligheidsstreven dusdanig in te vullen dat andere gebruiksfuncties en/of beleidsdoelen hiermee tegelijkertijd gediend kunnen worden. Eén van deze functies is natuur, met het beleidsdoel ecologisch herstel van watersystemen. In deze verkennende studie is aandacht besteed aan een bepaald type maatregel: de aanleg van geulen. Hiertoe is een aantal typen geulen onderscheiden. Met betrekking tot het veiligheidsvraagstuk is het type geulen niet van wezenlijk belang, maar wel de rol die geulen kunnen vervullen. Geulen kunnen een waardevolle bijdrage leveren aan het vergroten van de afvoercapaciteit (zie paragraaf 4.2.), in waterbergende trajecten is de invloed van aan te leggen geulen van veel minder belang. Voor landschapsecologische en geomorfologische afwegingen kan de keuze voor een type geul weer wel van belang zijn.

Vooraf is gesteld bij de invulling van deze eerste aanzet voor vuistregels zoveel mogelijk van bestaande kennis uit te gaan. Dit betrof vooral kennis uit het bovenrivieren-deel van de Nederlandse riviersystemen. Nader onderzoek om de indicatieve vuistregels (op onderdelen) uit deze doorvertaling te specificeren voor de Rijn-Maas-monding was niet voorzien in deze fase van het project. Dit alles leidt tot de volgende consequenties met betrekking tot deze eerste verkenning:

- niet alle onderscheiden geultypen zijn even uitvoerig aan bod gekomen. Dit geldt m.n. voor de getij-gedomineerde varianten. Een belangrijke vraag is in hoeverre sommige aspecten geulafhankelijk zijn. Dit zou een belangrijk item voor een vervolg op deze eerste verkennende studie kunnen zijn;
- men dient zich ervan bewust te zijn dat met de doorvertaling niet geheel recht wordt gedaan aan de specifieke situatie in de Rijn-Maas-monding.

De vuistregels richten zich in sterke mate op de ruimtelijke toedeling en de dimensies van de geulen. Dit is mede ingegeven door het feit dat een natuurlijk ontstaan van het merendeel van de onderscheiden geultypen niet meer mogelijk is. In de toekomst is het wellicht mogelijk de abiotische omstandigheden voor het ontstaan van getijdekreeken te herstellen bij een geoptimaliseerd beheer van de Haringvliet-sluizen. Voor de overige geulen zullen actief maatregelen (i.e. vergraving van de uiterwaard) uitgevoerd moeten worden. Voor het beheer en onderhoud speelt het restant van de natuurlijke dynamiek dan wel weer een rol.

De dimensionering van de geulen is voor nagenoeg alle betrokken functies van belang, maar leidt eerder tot tegenspraak dan consensus. Zo zijn veiligheid en delfstofwinning gebaat bij grotere, robuustere geulen dan voor een optimaal ecologisch functioneren noodzakelijk is. Ecologisch gefundeerde dimensies voor een geul leveren een geringere bijdrage aan de veiligheidsdoelstelling (zie paragraaf 4.2.). In de praktijk zijn hier weer allerlei optimalisaties in mogelijk. Zo kan een dieper deel (met steile onderwatertaluds) van de geul (b.v. 3-5 m diep) naast ondiepe, flauwe oeverzones op de overgang water – land ingepast worden. Dit diepere deel garandeert tevens een zone open water en kan ervoor zorgen dat opslibbing of verlanding van de gehele geul vertraagd wordt. Het voorgaande laat tevens zien dat dimensionering van geulen ook van invloed is op het te voeren beheer en onderhoud.

Naast waterdiepte spelen ook bij stroomsnelheid tegengestelde belangen. Tot nu toe geldt als ontwerpeis (in het bovenrivierengebied) aan een nevengeul dat er geen sedimenttransport mag optreden in de nevengeul. Hiertoe dient de stroomsnelheid zo klein mogelijk gehouden te worden. Voor stroomminnende natuurwaarden is enige stroming in de nevengeul echter een belangrijke vereiste. Bij onvoldoende stroming kan een nevengeul nog wel een (ecologische) rol vervullen, echter de specifieke meerwaarde van een nevengeul gaat dan verloren. Indien erosie van geulen wel wordt toegestaan, dient ook nog eens nagedacht te worden over de veiligheidsmarge die nu gehanteerd wordt tussen geul en dijk / kunstwerk. Zeker in situaties met beperkte ruimte kan dit nog kansen bieden, zij het in de vorm van natuurlijke overgangen van water naar land wanneer geulen niet tot de mogelijkheden behoren.

5.1. Aanbevelingen (samengevat)

- Een verdiepingsslag van de geformuleerde vuistregels is gewenst:
 - meer toegespitst op de specifieke situatie van de Rijn-Maas-monding;
 - gedetailleerdere input, eventueel gericht op specifieke deeltrajecten;
 - nagaan in hoeverre bepaalde uitspraken / aspecten geul-specifiek zijn.
- Met deze eerste verkenning konden niet alle vragen uit bijlage 1 (geheel) beantwoord worden. Zo ontbreekt een kosten-indicatie. Hiervoor zal eerst een gedetailleerdere invulling van de dimensies van een geul moeten gebeuren, eer een eerste reële inschatting van de kosten gemaakt kan worden.
- Naast een verdiepingsslag van de vuistregels voor geultypen kunnen in een vervolgstudie op vergelijkbare wijze vuistregels voor andere type maatregelen / ingrepen opgesteld worden. Gedacht kan worden aan retentie (bekkens, overlaten, groene rivieren).
- Afstemming met het herstelproject “Klein Profijt” is in het begin reeds genoemd. Daarnaast verdient aansluiting bij het project “Handboek Uiterwaardinrichting” dat momenteel bij RIZA loopt zeker de aandacht.

LITERATUUR

- De Jong, S.A., K.G. Luursema, L.W.A.A. Nieuwlaat, M. Ohm, A. van Spijk & A.H. Polderman, 2000. Vergroting van de afvoercapaciteit en berging in de benedenloop van Rijn en Maas. Bestuurlijk advies aangeboden aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat door de Stuurgroep Integrale Verkenning Benedenrivieren. Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland, Rotterdam. Hoofdrapport en bijlage.
- Jaarboek der Waterhoogten 1998.
- Maas, G.J., 1997. Benedenrivier-Ecotopen-Stelsel; herziening van de ecotopenindeling Biesbosch-Voordelta en afstemming met het Rivier-Ecotopen-Stelsel en de voorlopige indeling voor de zoute delta. DLO-StaringCentrum, Rijkswaterstaat RIZA, Arnhem.
- Oevelen, van et al 2001
- Rademakers, J.G.M. & H.P. Wolfert, 1994. Het Rivier-Ecotopen-Stelsel: een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied. EHR-rapport no. 61-1994. RIZA, Lelystad.
- Schropp, M.H.I., 1994.
Globale ontwerpen voor een nevengeul/vispassage over het stuweiland Driel. RIZA werkdocument 94.145X. Arnhem/Lelystad.
- Schropp, M.H.I. & C. Bakker, 1994.
Een ontwerp voor een nevengeul in de Stifitse Waard langs de Waal. RIZA nota 94.061. Arnhem.
- Schoor, M.M. & A.M. Sorber, 1998. Morfologie natuurlijk. ISBN 903695231x. RIZA, Arnhem.
- Taal, M., 1995.
Een basisontwerp voor een nevengeul in de Afferdensche en Deestsche waard langs de Waal. RIZA nota 95.047. Arnhem.
- Van de Rijt, C., 2000. De aanpassing van het model EMOE aan de vegetatie van de Biesbosch: analyse van de vegetatie in relatie tot zoutgehalte, beheer, hoogteligging en bodem. Hansson Ecodata i.o.v. RIZA, Lelystad.
- Van der Molen, D.T., H.P.A. Aarts, J.J.G.M. Backx, E.F.M. Geilen & M. Platteeuw, 2000. RWES-aquatisch. RIZA rapport 2000.038, RWES-rapport nr. 5. RIZA, Lelystad.
- Wolters, H. et al, in prep. Handboek Uiterwaardinrichting.

Bijlage 1. Richtinggevende vragen uit offerte verzoek RWS Dir. Zuid-Holland voor deze verkenning van vuistregels voor geultypen.

Het project heeft ten doel om vuistregels te genereren voor de keuzes die gemaakt moeten worden voor het al dan niet aanleggen van nevengeulen en de aanleg van het type nevengeulen.

Allereerst zou onderscheid gemaakt moeten worden tussen diverse typen nevengeulen:

- eenzijdig aangetakte nevengeulen (strangen)
 - aantakking bovenstrooms
 - aantakking benedenstrooms
- tweezijdig aangetakte nevengeulen
 - continue meestromend
 - bij hoge afvoeren meestromend
 - bij extreem hoog water (of zelfs alleen onder MHW) meestromend
- meerzijdig aangetakte nevengeulen

Verder zou onderscheidt gemaakt moeten worden in de verschillende zones van de Rijn-Maas-monding.

Van bovenstaande type nevengeulen en per zone zouden bij voorkeur leidraden gemaakt moeten worden voor:

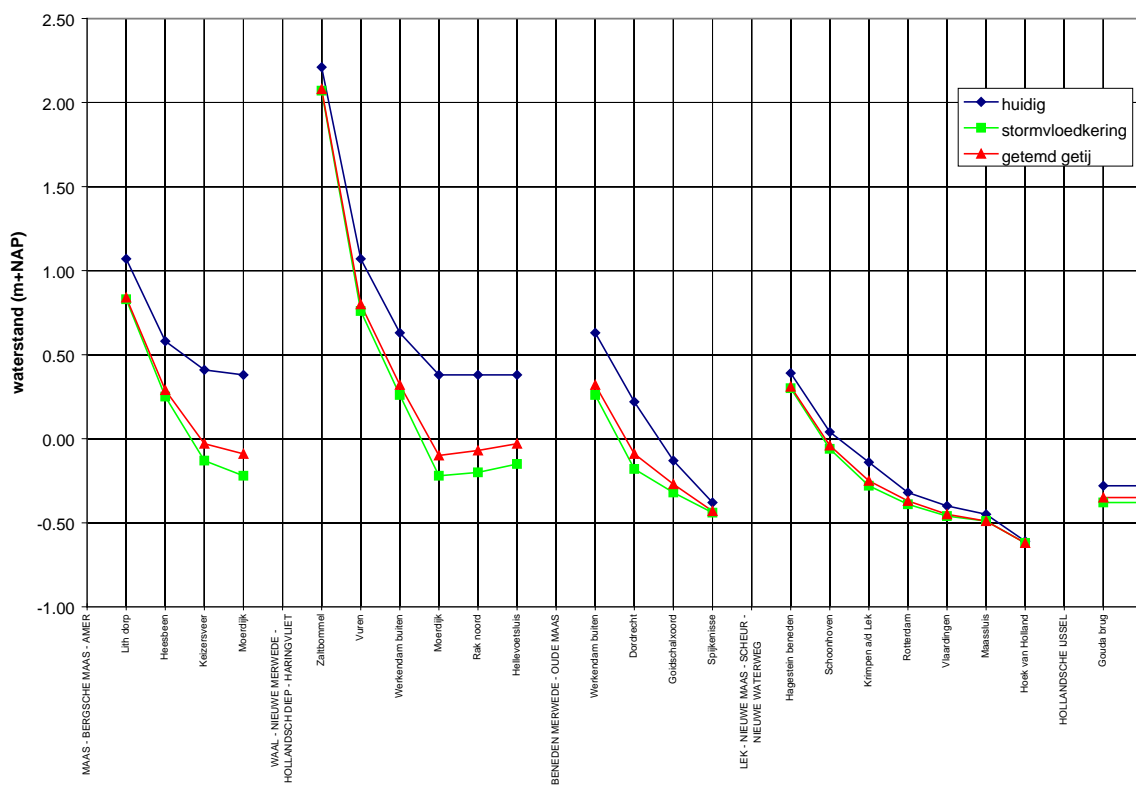
- Welk type nevengeul werkt het best in welke zone en is er een vuistregel te geven voor de kosten van aanleg
- Hoe zit het met de sedimentatie en andere aspecten van onderhoud (en is er een vuistregel te geven voor de onderhoudskosten per type)
- Wat zijn de randvoorwaarden voor de aanleg van stabiel gelegen geulen (zoals bv. het profiel, bodemtype).
- Wat is het effect (per type en zone) voor een verlaging van de MHW en voor waterberging.
- Wat is de minimale breedte (per type per zone) van de oever waarbij de aanleg van een nevengeul een aanzienlijke verbetering geeft aan het ecologisch functioneren van het watersysteem.
- Welk type nevengeul levert welke natuurwinst op en wat zijn dan de meest geschikte hellingshoeken, diepte enz.
- Hoe ga je om met de vormgeving van nevengeulen bij omdraaien stromingsrichting t.g.v. getijdenwerking.
- Wat voor adviezen zijn er te geven over de ligging/ontwikkeling van een nevengeul in relatie tot de hoogwaterkering.
- Wat zijn de effecten van een nevengeul op de hoofdgeul (ook met een hoofdgeul met getijdewerking).
- Is het voor de aanleg relevant om te mikken op een aantal kritische ecotopen.
- Wat zou je in monitoringprogramma bij de aanleg van een nevengeul mee moeten nemen.

Bijlage 2

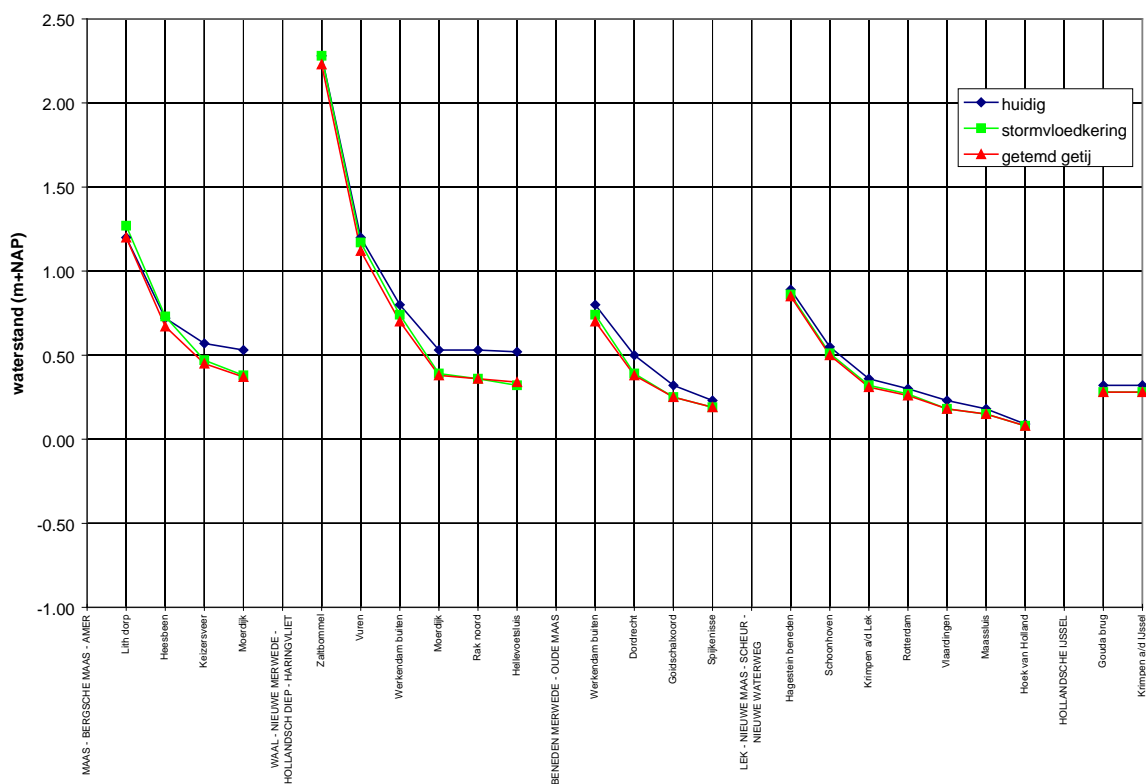
Bijgaande figuren zijn samengesteld op basis van berekeningen met het ZWENDL-model voor het Benedenrivierengebied die zijn uitgevoerd in het kader van de MER-Haringvliet (ref.). De periode 1/1/1988 - 31-12/1990 is doorgerekend met als randvoorwaarden de gemeten afvoeren van Waal, Lek en Maas, en de gemeten waterstanden op zee bij Haringvliet en Nieuwe Waterweg. Van elke getijperiode (12h25m) zijn de kenmerkende waarden berekend, en statistisch verwerkt. Een aantal waarden is in onderstaande figuren uitgezet.

De laatste figuur is ontleend aan het Jaarboek der Waterhoogten 1998, waarin normaalwaarden staan vermeld voor hoogwater en laagwater op basis van metingen. Deze waarden komen goed overeen met de ZWENDL-uitvoer voor de huidige situatie.

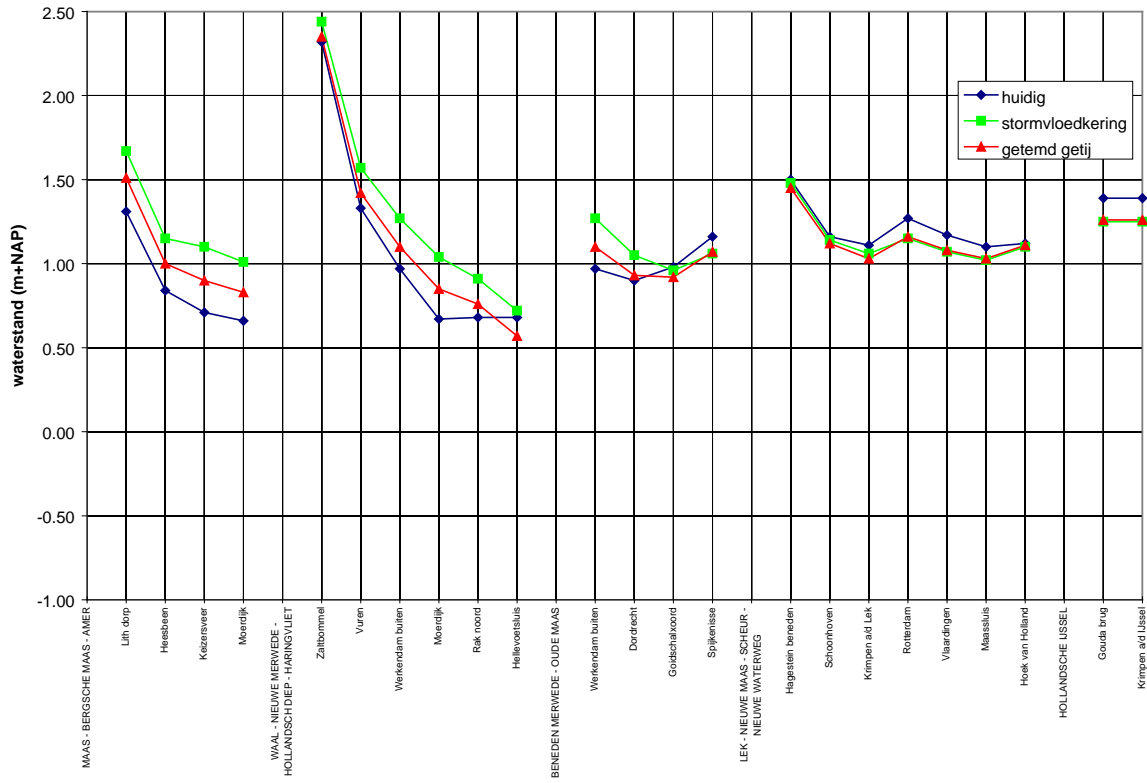
Gemiddelde laagwaterstand



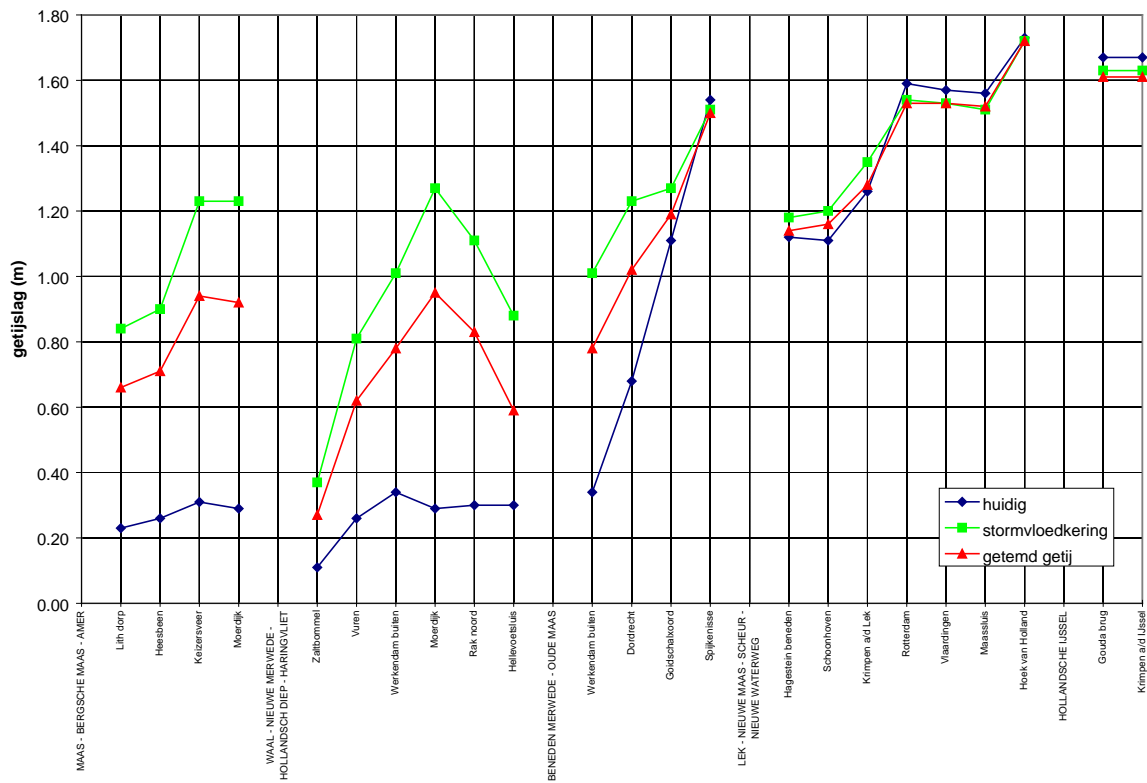
Gemiddelde waterstand



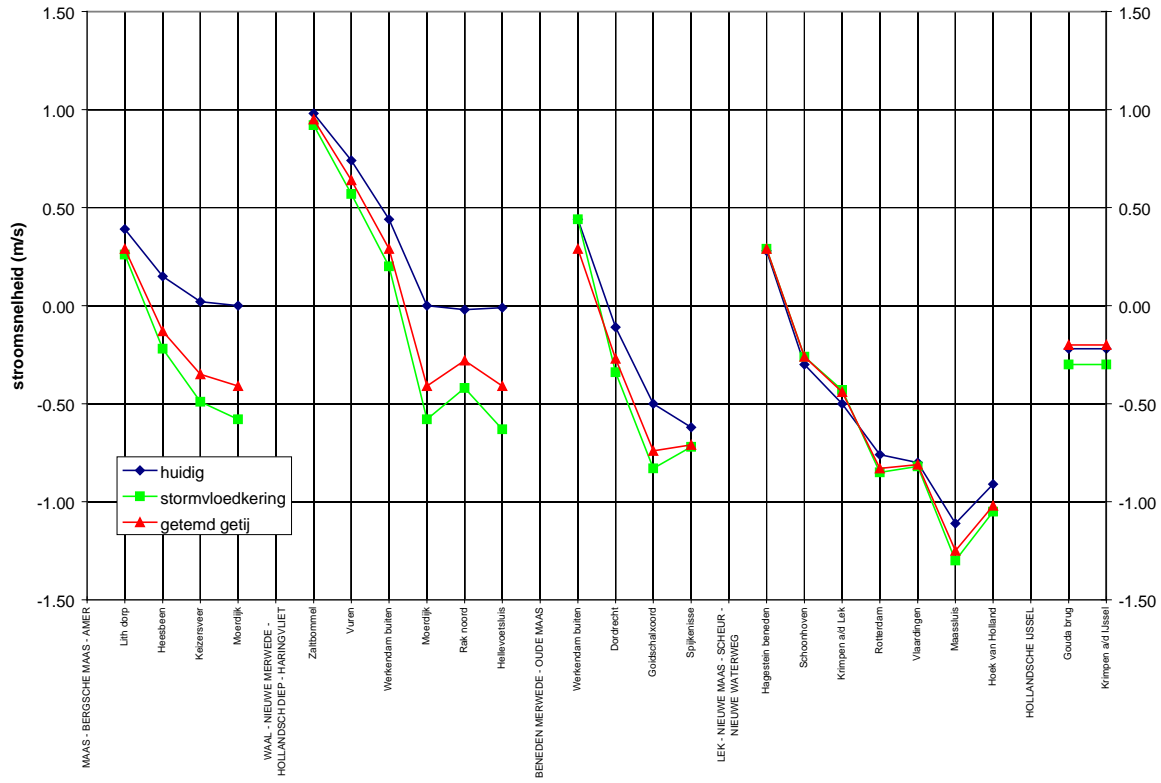
Gemiddelde hoogwaterstand



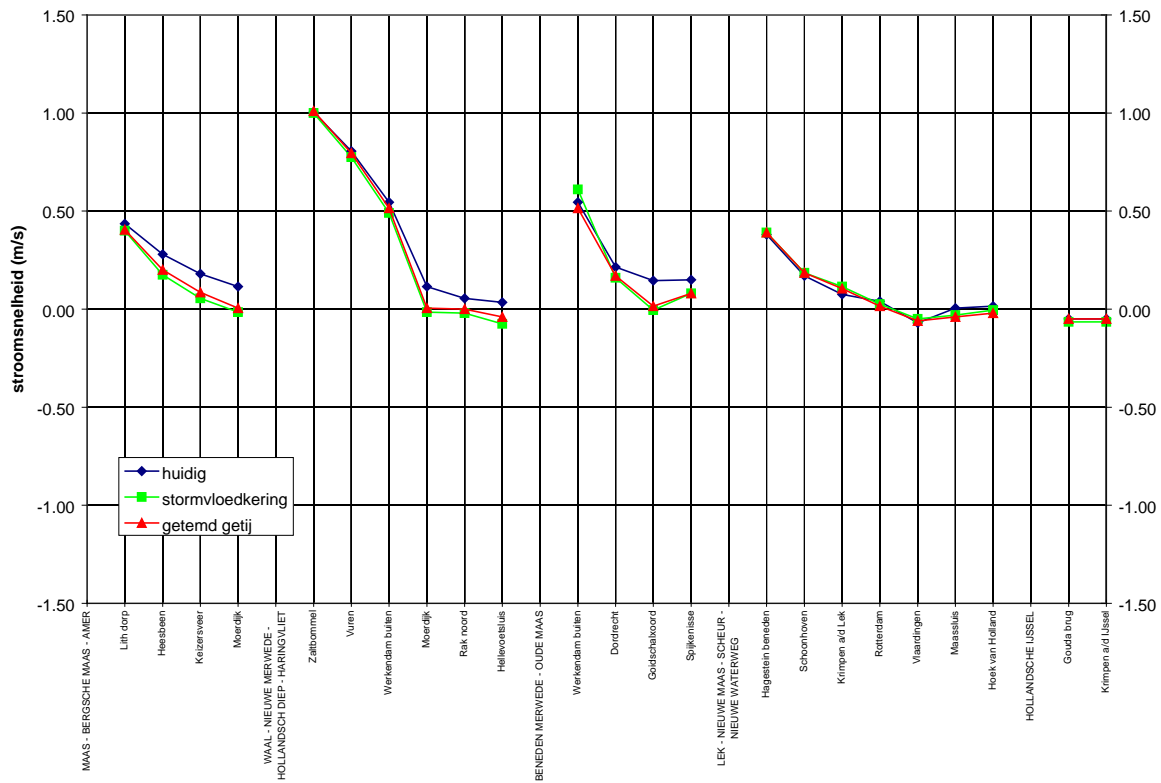
Gemiddelde getijslag



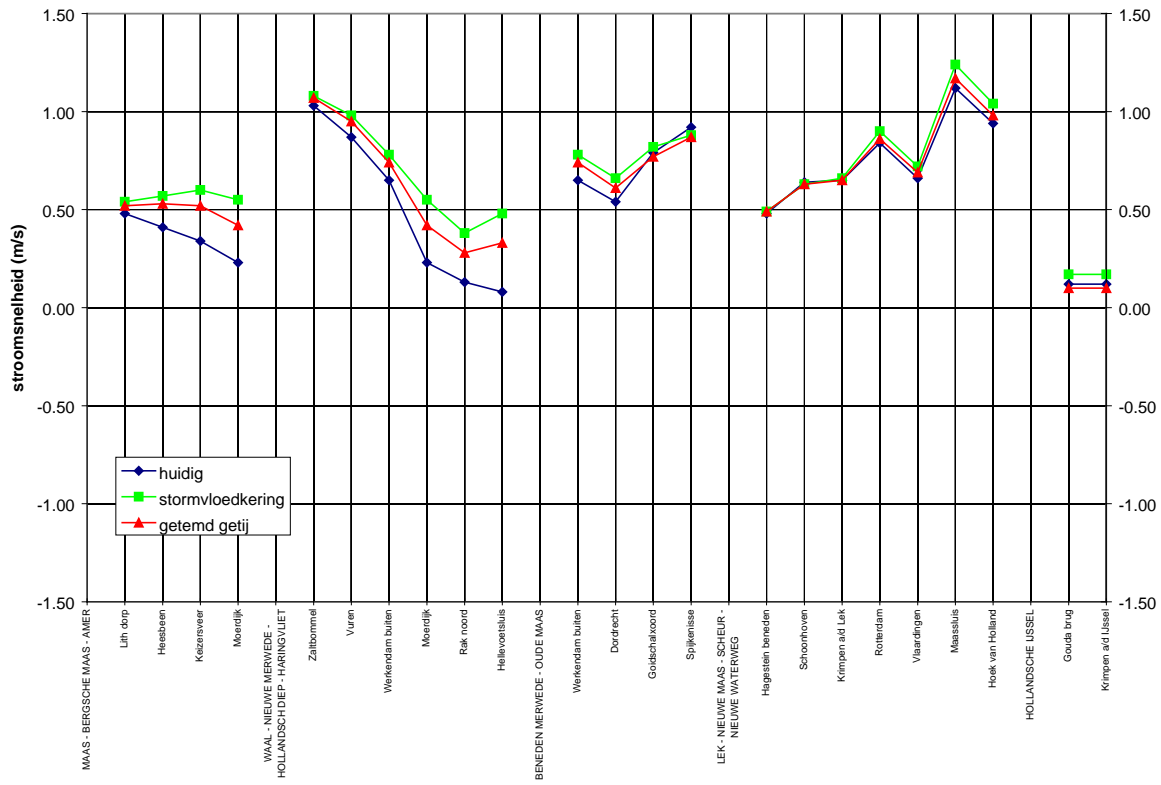
Gemiddelde MINIMUM stroomsnelheid



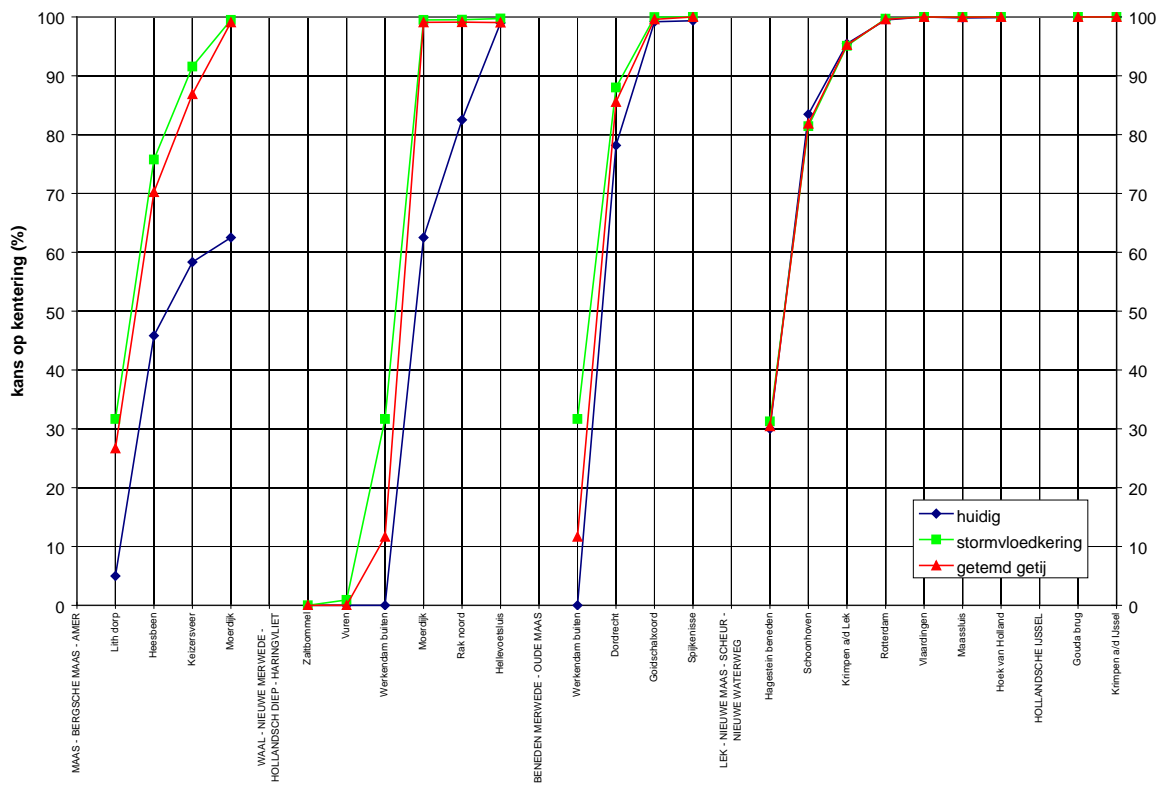
Gemiddelde van gemiddelde maximum en gemiddelde minimum stroomsnelheid



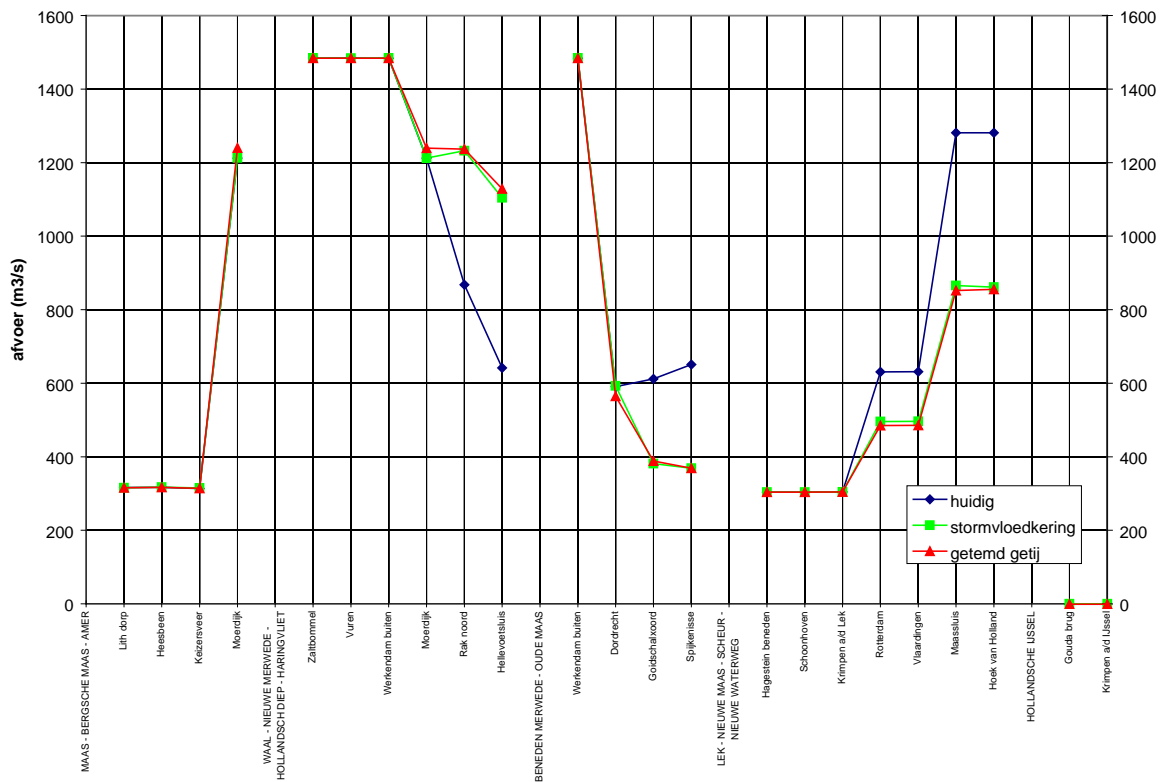
Gemiddelde MAXIMUM stroomsnelheid



Kans op stroomkentering



Gemiddelde netto afvoer



Gemiddelde waterstand en getijslag (bron: Jaarboek 1998)

