
Hoofdrapport: Doorstroommogelijkheden

Een studie naar de relatie tussen morfologie en ontwerp van kreken in een getij beïnvloed doorstroomgebied.

8 september 2005

Auteur:
B.J.A. Huisman

M.Sc. thesis

Afstudeercommissie:

- Prof. dr. ir. H.J. de Vriend
- Dr. ir. M.J. Baptist
- Ing. A. Rijdsdorp
- Dr. ir. P.J. Visser

In samenwerking met

- TU-Delft
- Bureau Benedenrivieren
- RIZA, afdeling wre



Opzet rapport:

HOOFDRAPPORT

I. Inleiding

- achtergronden
- probleemanalyse

II. Algemene analyse

- situatiebeschrijving
- oplossingsrichtingen
- algemene effectenanalyse

III. Detail analyse

- Modelling
 - Modelopzet
 - Uitgangspunten & Doelstellingen
- Resultaten
 - Morfologische resultaten
 - Gevoeligheidsanalyse
 - Modelaanpassingen
 - Hydraulische resultaten
- Conclusies
 - Ontwerpaanbevelingen
 - Conclusies & Discussie

BIJLAGEN

LITERATUURRAPPORT

Voorwoord

In het kader van 'Ruimte voor de Rivier' zal de hydraulische situatie binnen het doorstroomgebied de Noordwaard sterk veranderen. Dit heeft onder andere consequenties voor de inrichting, het gebruik, en de morfologie van het gebied. Waar kan men bijvoorbeeld sedimentatie of erosie verwachten? En welke consequenties heeft dit weer voor de inrichting van het gebied? In dit rapport wordt met name aandacht besteed aan de relatie tussen ontwerp en morfologie van kreken in een getij beïnvloed doorstroomgebied.

Dit onderzoek is geïnitieerd vanuit het Bureau Benedenrivieren en de sectie waterbouwkunde (leerstoel rivierwaterbouwkunde) van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU-Delft, en vormt mijn afstudeerthesis bij deze sectie. Tevens is samengewerkt met het RIZA, afdeling WRE in Rotterdam.

De Technische Universiteit Delft gaf support middels mijn afstudeercommissie die bestond uit professor De Vriend, Paul Visser, Martin Baptist en André Rijdsdorp. Laatst genoemde heeft vanuit het Bureau Benedenrivieren bijzonder bijgedragen aan de definitie en voortgang van het onderzoek. Daarnaast werd ik bij het Bureau Benedenrivieren voorzien van actuele informatie en goede raad door Theo van der Linden en Arie de Gelder (vanuit Directie Zuid-Holland). Tevens wil ik Johan van Zetten en Aad Fioole, van het RIZA afdeling WRE, danken voor de modelmatige en technische ondersteuning.

Voorwoord	1
Samenvatting	6

Deel I: Inleiding

1. Achtergronden	10
2. Probleemanalyse	16
2.1 Probleembeschrijving	16
2.1.1. Probleemstelling	17
2.1.2. Doelstelling	17
2.2 Actoren	18

Deel II: Algemene analyse

3. Programma van eisen inrichting	20
3.1 Randvoorwaarden	20
3.2 Uitgangspunten	21
3.3 Programma van eisen	22
4. Situatiebeschrijving	23
4.1 Onderdelen Noordwaard	23
4.2 Land in doorstroomgebied	23
4.3 Zomerpolders	24
4.4 Inlaatconstructie	24
4.5 Bruggen Bandijk	24
4.6 Uitlaat	25
4.7 Kreken	25
4.8 Focus rapport	26
5. Oplossingsrichtingen	27
5.1 Literatuur voorkeuren	27
5.2 Eenduidige en conflicterende voorkeuren	28
5.3 Principeoplossingen	29
5.3.1. Referentieontwerp	29
5.3.2. Varianten op referentieontwerp	30
5.3.3. Dwarsprofiel	31
5.4 Uitwerking oplossingsprincipes	31
6. Algemene effectenanalyse	32
6.1 Algemene analyse	32
6.2 Ontwerp krekensysteem	33
6.2.1. Effecten variatie loop	33
6.2.2. Effecten variatie dwarsprofiel	34
6.2.3. Effecten variatie hoogteligging	34

6.2.4.	Effecten variatie vegetatie/ruwheid	35
6.2.5.	Effecten aansluitingen Nieuwe Merwede	36
6.2.6.	Effecten variatie getijde	36
6.3	Beoordeling krekensysteem	37
6.3.1.	Overzicht effecten	37
6.3.2.	Beoordeling principeontwerpen	38
6.4	Detailontwerp krekens	39
6.4.1.	Detailanalyse modelaanpassingen	40
6.4.2.	Beperkingen numerieke modellering	40

Deel III: Detailanalyse

7.	Programma van eisen modellering	42
7.1	Randvoorwaarden	42
7.2	Uitgangspunten	42
7.3	Programma van eisen	43
8.	Opzet modellering	45
8.1	Optredende omstandigheden	45
8.1.1.	Scenario 1: Rijndominantie	45
8.1.2.	Scenario 2: Middelhoge Rijnafvoer	45
8.1.3.	Scenario 3: Rijn & Maas gematigd debiet	46
8.1.4.	Scenario 4: Maasdominantie	46
8.2	Insteek modellering	47
8.3	Morfologische modellen	47
8.3.1.	Morfologisch pakket	47
8.3.2.	Bestaande modellen	48
8.4	Modelafbakening	49
8.5	Randvoorwaarden	49
8.6	Zwevend stof parameters	51
8.6.1.	Samenstelling Sediment	51
8.6.2.	Procesparameters	51
8.7	Doelstelling uitvoer informatie	52
9.	Modellering	53
9.1	Modellering doorstroomgebied	53
9.1.1.	Lengte profiel	53
9.1.2.	Dwarsprofielen	54
9.1.3.	Kunstwerken	55
9.1.4.	Ruwheid	55
9.1.5.	Discretisatie	55
9.1.6.	Andere aspecten	55
9.2	Model 1: Biesbosch historisch	55
9.2.1.	Modelopzet	55
9.2.2.	Doelstelling model	56
9.2.3.	Uitgangspunten model	56
9.2.4.	Randvoorwaarden	56
9.2.5.	Bevindingen	56
9.3	Model 2: NDB historisch	56
9.3.1.	Modelopzet	56
9.3.2.	Doelstelling model	57
9.3.3.	Uitgangspunten model	57

9.3.4.	Randvoorwaarden	58
9.3.5.	Bevindingen	58
9.4	Model 3: NDB probabilistisch	58
9.4.1.	Modelopzet	58
9.4.2.	Doelstelling model	58
9.4.3.	Uitgangspunten model	58
9.4.4.	Hydraulische randvoorwaarden	59
9.4.5.	Morfologische randvoorwaarden	60
9.4.6.	Bevindingen	60
10.	Morfologische resultaten	62
10.1	Biesbosch historisch	63
10.2	NDB-model historisch (1998)	63
10.3	NDB-model probabilistisch (statistisch jaar)	65
10.4	Conclusies morfologie	67
11.	Gevoeligheidsanalyse	69
11.1	Valsnelheid	69
11.2	Kritische schuifspanning	71
11.3	Geometrische variaties	72
11.4	Overige aspecten	74
11.4.1.	Hoogte overlaat	74
11.4.2.	Afvoerrandvoorwaarden	74
11.4.3.	Zwevend stof randvoorwaarden	75
11.4.4.	Zand- en slibverdeling op splitsingspunten	75
11.5	Conclusies gevoeligheidsanalyse	75
12.	Modelaanpassingen	77
12.1	Breedte krekken	77
12.2	Bergend oppervlak	78
12.3	Duikers	81
12.4	Open verbinding	82
12.5	Conclusies modelaanpassingen	82
13.	Hydraulica	84
13.1	Waterstanden	84
13.1.1.	Getijdoordringing	84
13.1.2.	Inundatie frequentie	85
13.2	Stroomsnelheden	87
13.2.1.	Stroomsnelheden doorstroomgebied	87
13.2.2.	Stroomsnelheden open verbinding	88
14.	Ontwerpaanbevelingen	89
14.1	Toetsing ontwerpaanpassingen	89
14.1.1.	Bevindingen varianten	89
14.1.2.	Beoordeling	90
14.2	Ontwerpaanbevelingen	91
14.3	Algemene inrichting doorstroomgebieden	92
14.3.1.	Karakterisering doorstroomgebied	92
14.3.2.	Inrichting doorstroomgebied	95
15.	Conclusies	96
15.1	Conclusies	96

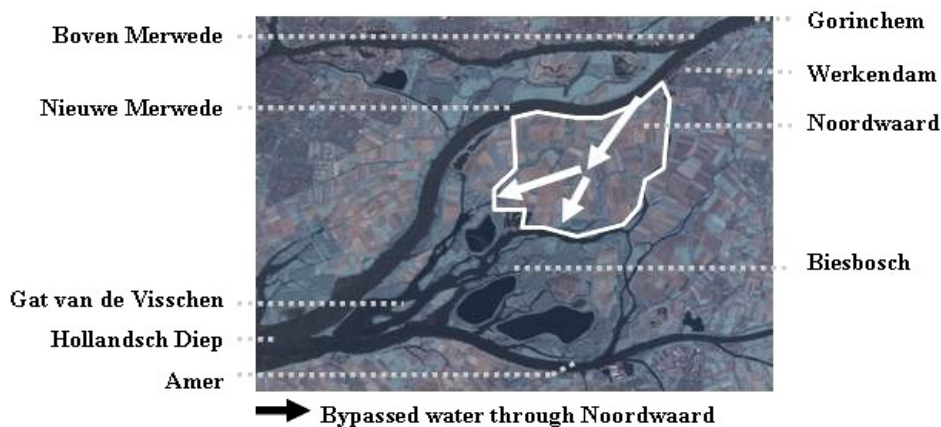
15.1.1. Morfologie	96
15.1.2. Hydraulica	97
15.1.3. Inrichting kreken	98
15.2 Discussie	99
15.2.1. Randvoorwaarden	99
15.2.2. Schematisatie	100
15.3 Onderzoeksaanbevelingen	101
Literatuur	102
Bijlage	
Literatuurrapport	

Samenvatting

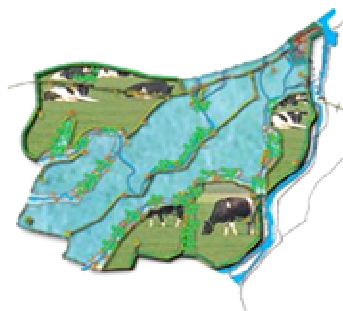
Kader

Dit rapport beschrijft de inrichting van een speciaal type nevengeul, met een drempelconstructie aan de bovenstroomse zijde. In het kader van 'Ruimte voor de Rivier' wordt momenteel gewerkt aan een dergelijk project. Dit betreft het landbouwgebied Noordwaard, dat gedeeltelijk als doorstroomgebied ingericht zal worden. Tijdens hoogwater wordt via dit gebied water aan de Nieuwe Merwede onttrokken, waardoor de waterstanden bij Werkendam en Gorinchem (Boven Merwede) zullen dalen. Het gebied is gelokaliseerd in de Brabantsche Biesbosch, aan de zuidzijde van de Nieuwe Merwede. Dit project wordt als casestudy in dit onderzoek betrokken.

Figuur 1: Biesbosch en landbouw gebied Noordwaard.



Figuur 2: Doorstroomde deel van het landbouwgebied Noordwaard. De blauwe gebieden worden zeer frequent geïnundeerd.



Inleiding

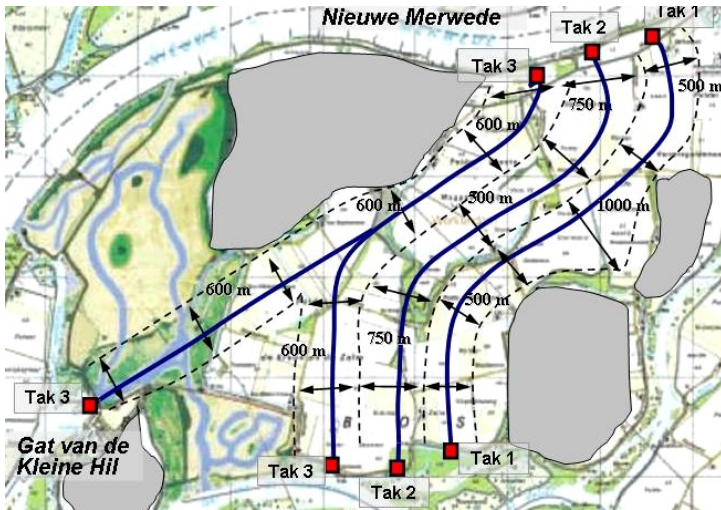
De hydraulische en morfologische consequenties voor het gebied zijn aanzienlijk. Delen van de Noordwaard zullen zeer frequent inunderen (figuur 2). Dit onderzoek spitst zich toe op de morfologie van dit gebied (Hfst.2), en wel in het bijzonder op de relatie tussen morfologie en ontwerp.

Algemene analyse

In hoofdstuk 6 worden de functionele eisen van een krekensysteem geanalyseerd. Met behulp van deze eisen is een algemene ontwerp-analyse uitgevoerd (Hfst.7), waaruit ontwerpvarianten naar voren zijn gekomen die in een gedetailleerde analyse (Hfst.8-12) zijn onderzocht, dit betreft de volgende ontwerpvarianties:

- Variatie in de breedte van de krekens;
- Aantakken van water (in het bijzonder het creëren van bergend oppervlak aan de noordzijde van het gebied);
- Permanente doorstroming middels een duiker of open verbinding.

Figuur 3: 1D schematisatie van het doorstroomde deel van het landbouwgebied Noordwaard. (blauw: drie takken)



Schematisatie

Ten behoeve van het morfologisch onderzoek is een 1D numeriek pakket toegepast (SOBEK), waarin modellen voor het Biesbosch gebied en het Noordelijk deltabekken gebruikt zijn (Hfst.8). Het doorstroomgebied van de Noordwaard is hierin geschematiseerd tot een drietal takken (figuur 3). De breedte en ligging van de takken is afgestemd op de lokale geografie van het landschap. In de resultaten sectie worden de resultaten voor tak 2 (de middelste tak) weergegeven, aangenomen wordt dat deze resultaten representatief zijn voor de andere (geschematiseerde) takken.

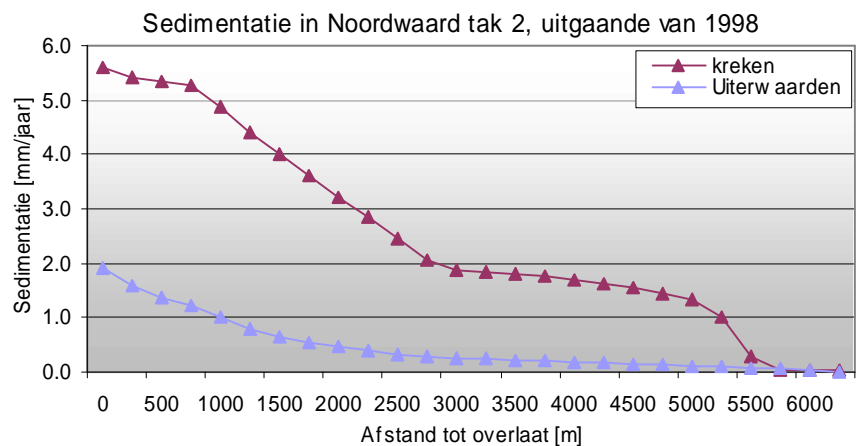
Morfologie

Om de morfologie over een lange periode te benaderen is uitgegaan van twee typen randvoorwaarden (Hfst.9), namelijk:

- Historische randvoorwaarden voor een representatief jaar (1998);
- Probabilistische randvoorwaarden voor een statistisch jaar.

In het doorstroomgebied blijkt voornamelijk sedimentatie plaats te vinden. Figuur 4 visualiseert de sedimentatie over de lengte van Noordwaard-tak 2 (figuur 3) voor de kreken en 'hoge gronden'. Hierbij is uitgegaan van meetdata voor het jaar 1998 (historische randvoorwaarden).

Figuur 4: Sedimentatie [mm/jaar] in de kreken en uiterwaarden van het doorstroomgebied van de Noordwaard, voor het pilot jaar 1998.



Uit de morfologische analyse komt naar voren dat:

- De morfologie een grote jaarlijkse variatie kent;
- De sedimentatie in kreken en op de 'hoge gronden' direct achter de overlaats het hoogste is (bovenstroomse rand is bepalend).
- De jaarlijkse sedimentatie (in mm/jaar) is beperkt, als dit vergeleken wordt met de sedimentatie in andere nevengeulen en uiterwaarden.

Tevens komt uit de resultaten (Hfst.10) naar voren dat de historisch samengestelde randvoorwaarden realistischer resultaten geven dan de probabilistische randvoorwaarden. Enkele aspecten die minder goed met een probabilistische aanpak benaderd worden, zijn:

- Tijdsafhankelijke effecten (o.a. hoogwatergolven);
- De Maasafvoer niet direct gerelateerd is aan de Rijn afvoer;
- De getijdebeweging, waarvoor een gemiddelde getijcyclus gebruikt wordt.

In hoofdstuk 11 wordt de gevoeligheid van het model onderzocht. Hieruit blijkt dat de gevonden sedimentatie (figuur 4) aan de hoge kant is, maar wel een goede bovengrens vormt voor de te verwachten sedimentatie.

Hydraulica

In hoofdstuk 13 wordt de hydraulica van het doorstroomgebied toegelicht. Uit de detailanalyse (met SOBEK) blijkt dat de getijdoordringing vrij groot is, behalve als de waterstanden net boven het maaiveld (NAP +0,8m) uitkomen. Tevens is een statistische analyse van de waterstanden bij Deeneplaat uitgevoerd (voor de periode 1970-2000). Uit deze analyse zijn de overschrijdingsfrequenties voor verschillende waterpeilen in het doorstroomgebied bepaald (bijlage D).

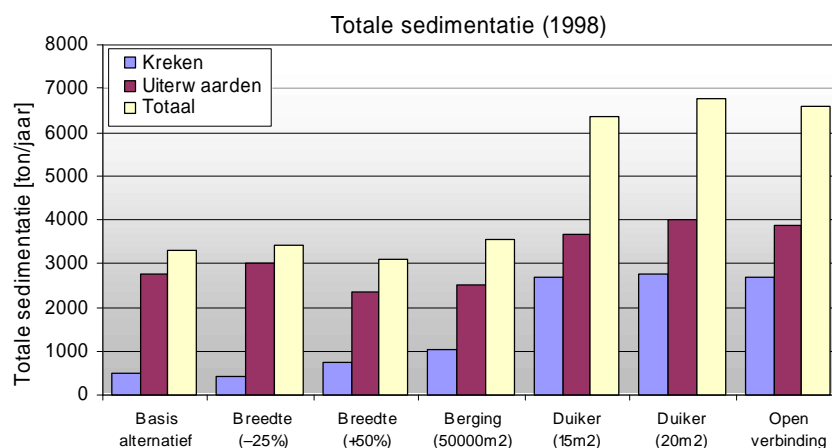
Ontwerpaanbevelingen

De ontwerpvarianties in hoofdstuk 12 blijken geen gunstig effect te hebben op de morfologie van het gebied (figuur 5), aangezien:

- De sedimentconcentraties van het toegevoerde water aan de bovenstroomse zijde (Nieuwe Merwede), hoog zijn, in vergelijking met de sedimentconcentraties aan de benedenstroomse zijde;
- De invloed van een duiker of open verbinding op de stroomsnelheden in de krekken beperkt is.

.....
 Figuur 5: Vergelijking sedimentatie in detailstudie Noordwaard voor alle ontwerpaanpassingen (voor een deel van het doorstroomgebied, tak 2). De ontwerpaanpassingen zijn:

- Breedte van de krekken variëren (+50% of -25%);
- Berging creëren aan de Noordzijde van de krekken (achter overlaat);
- Duiker onder overlaat aanbrengen, zodat de krekken permanent doorstromen.
- Een open verbinding tussen de krekken van het doorstroomgebied en de Nieuwe Merwede.



Aangeraden wordt om een eenvoudig krekensysteem met licht meanderende krekken in de Noordwaard toe te passen (Hfst.14). Daarnaast worden ook algemene richtlijnen gegeven voor het inrichten van andere nevengeulen, aangezien de hydraulische en morfologische omstandigheden per nevengeul sterk kunnen verschillen.

Deel I: Inleiding

Achtergronden

Probleemanalyse

- Probleemdefinitie
- Doelstellingen
- Actoren

Literatuurstudie (literatuurrapport)

- Kader Noordwaard
- Hydraulica
- Morfologie
- Referentieprojecten
- Inrichting uiterwaarden

1. Achtergronden

Historie

De Nederlandse delta wordt al vele eeuwen beschermd tegen zee- en rivierwater. Door de tijd heen zijn verschillende constructieve maatregelen toegepast. De nadruk lag daarbij eeuwenlang op het versterken van dijken. Na de stormvloed van 1953 kreeg het reguleren van waterstanden meer aandacht, ten behoeve hiervan werden veel waterbouwkundige kunstwerken gebouwd. Naar aanleiding van de hoge waterstanden op de Rijn en Maas in 1993 en 1995 heeft het kabinet in 1996 de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' vastgesteld (HR1996). Deze beleidslijn behelst het verruimen van de rivier, de beschikbare ruimte in het winterbed van de grote rivieren wordt vergroot om de toekomstige (hogere) rivierafvoeren op te vangen. Door middel van een toetsingskader kunnen nieuwe plannen voor bouwactiviteiten binnen de winterdijken van rivieren beoordeeld worden op hun toelaatbaarheid. 'Ruimte voor de Rivier' past tevens goed binnen de huidige inrichtingseisen, met betrekking tot landschappelijke en natuurwaarden, die aan het rivierengebied gesteld worden.

Figuur 1.1: Weergave benedenstroomse Rijn- en Maastakken (zie ook bijlage A)



- | | | | |
|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 1. Boven Merwede | 5. Amer | 9. Dordtsche kil | 13. Nieuwe Waterweg |
| 2. Nieuwe Merwede | 6. Hollandsch Diep | 10. Oude Maas | 14. Hartelkanaal |
| 3. Beneden Merwede | 7. Haringvliet | 11. Noord | 15. Spui |
| 4. Bergse Maas | 8. Volkerak | 12. Nieuwe Maas | 16. Grevelingen |

'Ruimte voor de Rivier' in benedenrivierengebied

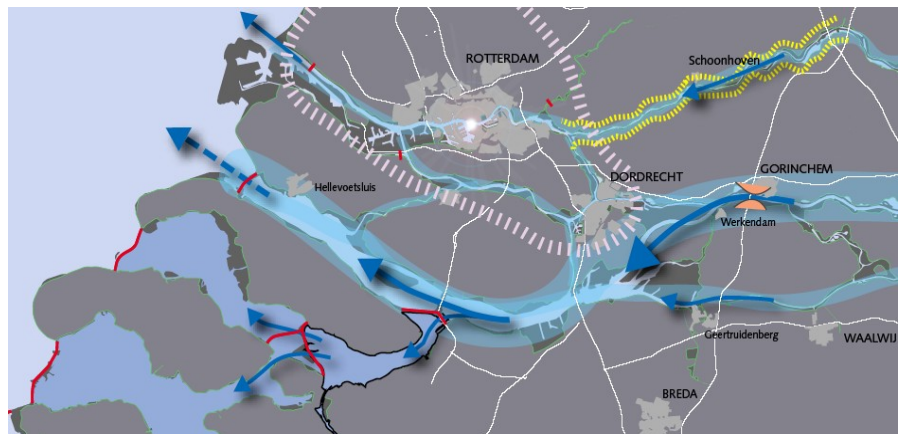
In de planstudie 'Ruimte voor de Rivier' is onderzocht wat de mogelijkheden en knelpunten zijn van deze beleidslijn voor het benedenrivierengebied (figuur 1.1). Twee belangrijke knelpunten hieruit worden in 'Benedenrivieren in samenhang' (Bureau Benedenrivieren, 2004) benoemd:

- Knelpunt Boven Merwede bij Gorinchem;
- Stedelijk gebied randstad biedt weinig mogelijkheden voor verruiming rivier.

Het knelpunt in de rivier de Boven Merwede bij Gorinchem is moeilijk te verbreden. Dit heeft gevolgen voor de waterstanden bovenstrooms van het knelpunt. Deze dienen met alternatieve maatregelen verlaagd te worden. Benedenstrooms van Gorinchem bevindt zich tevens een rivierkundig knooppunt. Hier splitst de Boven Merwede in de Nieuwe Merwede en de Beneden Merwede (figuur 1.1). Deze laatste voert zijn water af door de Randstad. Het is onwenselijk meer water via de Beneden Merwede af te voeren, gezien de beperkte mogelijkheden om hier rivierverruimende maatregelen te treffen. De doelstelling voor het benedenriviereengebied is tweeledig:

- Verlagen waterstanden bij Gorinchem;
- Afvoer van water via de zuidelijke rivier delta (Nieuwe Merwede) door beïnvloeding van de afvoerverdeling bij het splitsingspunt van de Merwede.

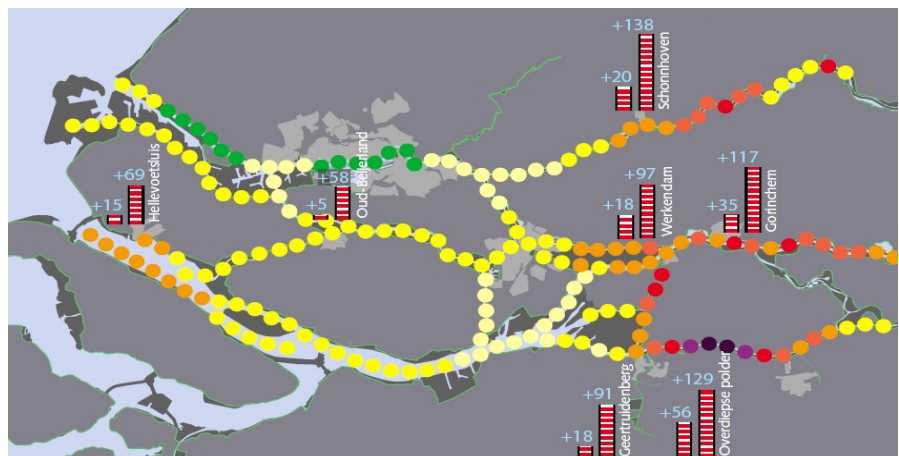
.....
 Figuur 1.1: Weergave bottleneck bij Gorinchem en voorkeursafvoer via zuidelijke delta, volgens 'Benedenrivieren in samenhang' (Bureau Benedenrivieren, 2004).



Taakstelling benedenriviereengebied

In het randvoorwaardenboek van 1996 en 2001 (HR1996 & HR2001) is de taakstelling voor het benedenriviereengebied opgenomen. Voor de korte en lange termijn is hierbij uitgegaan van een maatgevende afvoer van de Rijn van respectievelijk $16000\text{m}^3/\text{s}$ (voor 2015) en $18000\text{m}^3/\text{s}$ (voor 2050) bij Lobith. Gecombineerd met een zeespiegelstijging van 30 cm tussen 2050 en nu (gemiddeld scenario, volgens Van Prooijen (2004)), wordt een flinke stijging van de maatgevende waterstanden verwacht. Lokaal betekent dit voor Gorinchem dat de taakstelling, voor het jaar 2015, 35cm naar boven bijgesteld moet worden. Voor het jaar 2050 wordt zelfs een stijging van de maatgevende waterstanden van meer dan een meter verwacht (Bureau Benedenrivieren, 2004).

.....
 Figuur 1.2: Lokaal verwachte stijging maatgevende waterstanden, uit de korte en lange termijn doelstellingen (randvoorwaarden boek 1996, 2001).



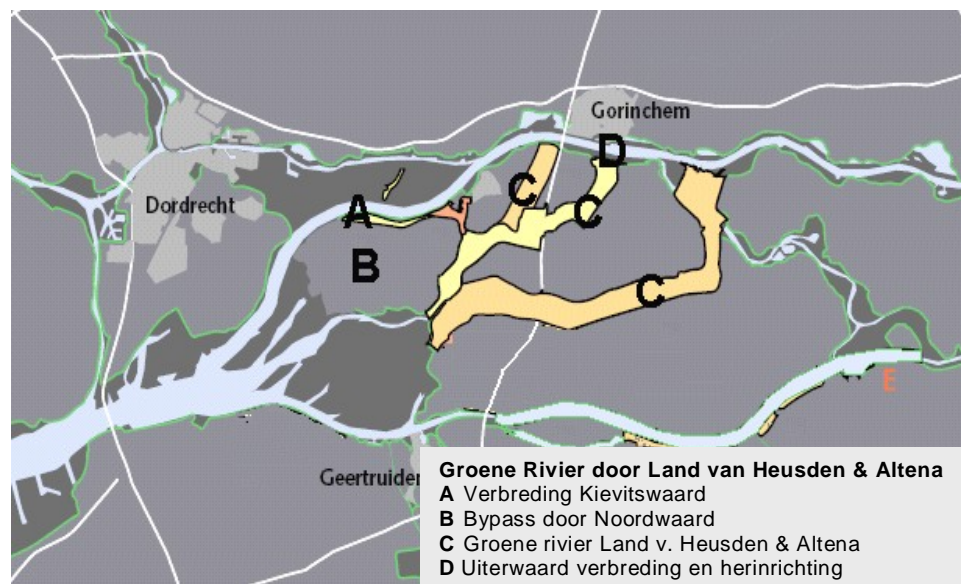
Oplossingsrichtingen

Voor zowel de korte als de lange termijn is daarom onderzoek gedaan naar waterstand verlagende ingrepen, die passen binnen de huidige beleidsplannen. Daarbij zijn enkele alternatieven ontworpen die de rivier verbreden of ontlasten middels een bypass. Enkele voorbeelden (Bureau Benedenrivieren, 2004) van deze waterstand verlagende maatregelen voor de Boven en Nieuwe Merwede zijn:

- Verruiming rivieren;
- Groene rivier door het 'Land van Altena';
- Noordwaard als doorstroomgebied;
- Zomerbedverdieping Merweden (Ogink, 2002).

Verruiming van de rivier biedt, door de beperkte ruimte, onvoldoende waterstandverlaging bij Gorinchem. Daarom zijn extra maatregelen noodzakelijk. Zo'n alternatieve maatregel is de groene rivier, waarvoor in ontwerpstudies verschillende varianten naar voren zijn gekomen (figuur 1.3). Deze varianten leiden het water via een bedijkte zone in het 'Land van Altena' naar de Biesbosch. Door de groene rivier zo ver mogelijk bovenstrooms van het probleemgebied af te leiden, kan een optimaal hydraulisch effect verkregen worden. Een andere maatregel die uit de ontwerpstudies naar voren is gekomen, is het gebruik van het landbouwgebied Noordwaard als doorstroompolder. Hierbij wordt water uit de Nieuwe Merwede ingelaten en via de Noordwaard naar de geulen van de Biesbosch afgevoerd. De vierde optie betreft zomerbedverdieping van de Merwede. Hierbij is onderzoek gedaan naar de het maatgevend hoogwater water (MHW) verlagend effect van een verdieping van Boven, Beneden of Nieuwe Merwede (Ogink, 2002). Tevens zijn de kosten van de maatregel volgens een optimistisch en conservatief scenario bepaald. Met behulp van zomerbedverlaging kan aan de korte termijn taakstelling voldaan worden, voor de lange termijn zijn echter aanvullende maatregelen noodzakelijk. Een verdieping van de Merwede brengt tevens meer sedimentatie en hogere onderhoudskosten met zich mee.

.....
Figuur 1.3: Ontwerpmaatregelen Merweden, volgens 'Benedenrivieren in samenhang (Bureau Benedenrivieren, 2004).



Scenario's

Voor de korte en lange termijn zijn scenario's vastgesteld met combinaties van deze ingrepen. Hieruit komt naar voren dat voor de lange termijn taakstelling, de ingreep landbouwgebied Noordwaard noodzakelijk is. Voor de korte termijn is de maatregel Noordwaard gecombineerd met rivierverbreding ter hoogte van Gorinchem ook interessant, aangezien deze maatregelen voldoende effect sorteren om aan de korte termijn taakstelling (voor 2015) te voldoen. Het doorstromend maken van de Noordwaard verlaagt namelijk ook de maatgevende waterstanden op de Beneden Merwede, omdat meer water via de Nieuwe Merwede afgevoerd zal worden.

Figuur 1.4: Doorstroomgebied Noordwaard en maatregelen bij Gorinchem.



Figuur 1.5: Doorstroomgebied Noordwaard ('A' in figuur 1.4).



Figuur 1.6: Additionele maatregelen bij Gorinchem ('B' in figuur 1.4).



Hydraulica Noordwaard

In de rapporten 'Benedenrivieren in samenhang' (Bureau Benedenrivieren, 2004) en 'Verkenning Noordwaard' (Bureau Benedenrivieren, 2003) is gekeken naar ontwerpmogelijkheden voor de Noordwaard. Uitgaande van de benodigde waterstandverlaging is een maatgevend debiet van $3000\text{m}^3/\text{s}$ bepaald, dat door de Noordwaard afgevoerd dient te worden. De bevindingen in deze rapporten voorzien in een aantal ontwerpconcepten, die in overleg met bewoners en belanghebbenden samengesteld zijn. Enkele aspecten die hierin naar voren komen zijn:

- Verlagen dijk in het noordoosten van de Noordwaard (overlaat);
- Verwijderen dijken in het zuidwesten van de Noordwaard;
- Bedijking gebieden in noordwesten en zuidoosten van de Noordwaard;
- Het gebied zodanig inrichten dat de hydraulische weerstand binnen gestelde grenzen valt;
- Bewoning in het gebied op een veilige en aantrekkelijke manier nieuw inrichten.

Ingrijpende maatregelen zijn dus noodzakelijk om voldoende effect te sorteren onder MHW omstandigheden. De half open inlaat (aan de bovenstroomse zijde) zal enkele keren per jaar water de polder in laten stromen (circa 10 dagen per jaar). Tevens zal de open verbinding met de Biesbosch, aan de benedenstroomse zijde, invloed uitoefenen op de dagelijkse omstandigheden, getij invloed heeft vrij spel. De lager gelegen delen van het doorstroomgebied zullen vrijwel dagelijks en de hoger gelegen gebieden periodes van het jaar onder water staan. De inundatiefrequenties voor dit gebied zijn tevens ingeschat. In tabel 1.1 worden de verwachte waterstanden op de Nieuwe Merwede en binnen de Noordwaard weergegeven.

Tabel 1.1: Verwachte waterstanden doorstroomgebied (in centimeters t.o.v. NAP), bron: informatie A. Rijsdorp.

Verwachte waterstanden in en rond de Noordwaard											
	GLW	GHW	GEM	100x	10x	1x	1/10	1/25	1/100	1/1000	1/2000
				/jaar	/jaar	/jaar	jaar	jaar	jaar	jaar	jaar
Inlaat zonder Noordwaard	65	95		160	225	260	300	315	350	400	410
Inlaat met Noordwaard	65	95		160	220	230	250	260	280	335	340
Doorstroomgebied	40	70	55	100	150	200	235	250	270	310	315

Ruimtelijke inrichting

Het projectbureau 'Benedenrivieren' heeft in samenwerking met de bewoners, en andere belanghebbenden, de mogelijkheden met betrekking tot de ruimtelijke indeling van de Noordwaard verkend (Bureau Benedenrivieren, 2003 & 2004). Verschillende modellen voorzien een compartimentering van de Noordwaard in een stroomvoerend en een randgebied. Het model 'Middendoor' is daarbij als het meest gunstige aangemerkt, aangezien dit model qua effectiviteit en indeling het beste aansluit bij de bestaande situatie. Dit model behelst een doorstroomroute door het midden van de polder, met zomerpolders aan de noordwest en zuidoost zijde (figuur 1.7: groen in de middelste weergave Noordwaard). Figuur 1.7 geeft een visualisatie van de hydraulica van het model 'Middendoor' onder verschillende omstandigheden.

Figuur 1.7: Noordwaard volgens plan 'Middendoor', van links naar rechts: zomer & laagwater / winter & hoogwater / Laag frequente omstandigheden, volgens 'Benedenrivieren in samenhang (Bureau Benedenrivieren, 2004).



Het doorstroomde deel van het gebied wordt verdeeld in twee delen, respectievelijk onbekade en bekade gebieden. Het onbekade deel biedt ruimte voor extensieve veeteelt en zal regelmatig inunderen,

omdat water vanuit de zuidelijke openingen het gebied binnenstroomt. Het bekaide deel wordt omgeven door een kade die tot circa NAP +1,5m reikt. Dit deel van het doorstroomde gebied zal aanzienlijk minder inunderen en biedt daarom ruimte voor intensievere landbouw.

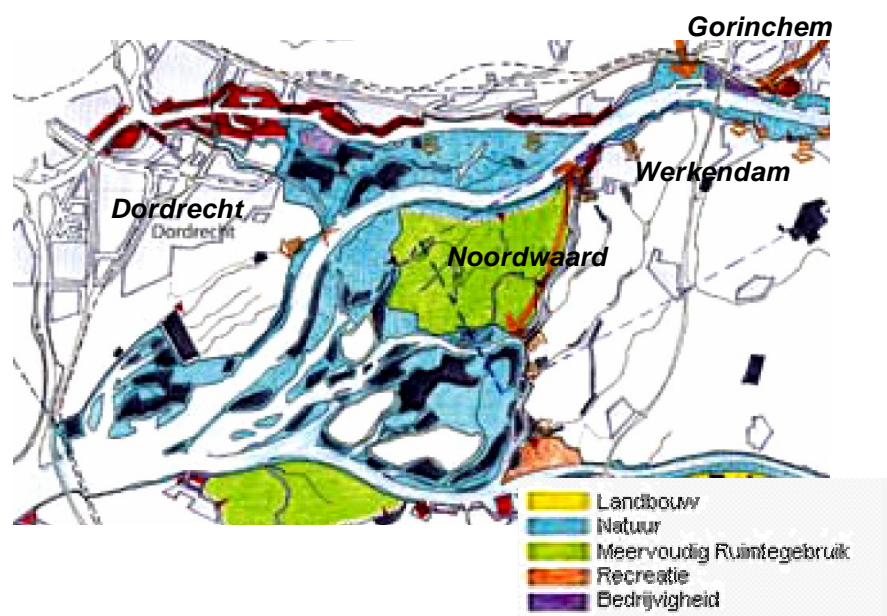
Historie gebied

De Noordwaard is van oorsprong een deel van de Biesbosch en kent dan ook dezelfde ontstaansgeschiedenis. Door opslibbing van sediment en door getijdenwerking is een complex gebied met platen en krekken ontstaan. Op de hoogste platen vestigden zich boeren, waardoor veel kleine poldertjes met boerderijen ontstonden. Door de grote invloed van de zee overstromden de polders vrij frequent. Eind negentiende eeuw is de Nieuwe Merwede door de Biesbosch gegraven, ten zuiden hiervan heeft men de polders verbonden en is de Noordwaard ontstaan. Binnen de Noordwaard zijn de oorspronkelijke polders echter nog goed te onderscheiden. Na de afsluiting van het Haringvliet is slechts een schijn getij overgebleven en is de kans op inundatie van de Noordwaard zeer sterk beperkt. Na de ruilverkaveling is het gebied geëgaliseerd en zijn oorspronkelijke elementen verwijderd. Toch is de ontstaansgeschiedenis nog duidelijk zichtbaar in het landschap. Een voorbeeld hiervan zijn de restanten van de krekken die vanuit het zuidwesten naar het noordoosten door de polder lopen.

Landbouw

Binnen de Noordwaard wordt voornamelijk landbouw bedreven. In het gecompartmenteerde deel van de Noordwaard kan het huidige landgebruik behouden worden. Binnen het stroomvoerende deel van de polder echter zal de landbouw geëxtensieverd worden en deels plaats maken voor natuurontwikkeling en recreatie. Om de hydraulische weerstand en onderhoudskosten van het gebied te beperken, zal de invulling bestaan uit ruig grasland waarop extensieve veeteelt bedreven kan worden. Tussen de hogere en lagere delen van de Noordwaard zal een geleidelijke overgang ontstaan van extensieve veeteelt en natuur. Tevens kunnen delen van het doorstroomgebied met lage kades beschermd worden om de landbouwmogelijkheden te verbeteren.

.....
Figuur 1.8: Landgebruik in regio Biesbosch.



2. Probleemanalyse

In hoofdstuk één zijn de achtergronden, betreffende de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' en het plan Noordwaard toegelicht. In dit hoofdstuk wordt meer gedetailleerd ingegaan op de veranderingen die in dit gebied gaan plaats vinden, alsmede de problemen die hiermee samenhangen (§2.1). Dit onderzoek is gericht op een centrale probleemstelling (§2.1.1), aan de hand waarvan doelstellingen en concrete onderzoeksvragen zijn geformuleerd (§2.1.2). Tevens worden de betrokken actoren (§2.2) beschreven.

2.1 Probleembeschrijving

In het vorige hoofdstuk werd reeds gesproken over de plannen met betrekking tot de inrichting van de Noordwaard, zoals het ontpolderen van een groot deel van de Noordwaard, door het verwijderen of verlagen van primaire keringen. Dit noopt echter tot een herinrichting binnen het doorstroomgebied. Deze herinrichting wordt grotendeels bepaald door de volgende aspecten:

- Hydraulische eisen afvoer;
- Oorspronkelijke situatie;
- Onderhoud doorstroomgebied.

Allereerst dient de inrichting van het doorstroomgebied in overeenstemming te zijn met de hydraulische eisen, die aan de Noordwaard gesteld worden. Het doorstroomgebied dient voldoende afvoercapaciteit te bieden om de gewenste waterstandverlaging te bereiken. Hieraan gerelateerd zijn de eisen met betrekking tot de hydraulische ruwheid (begroeiing). Door regelmatig onderhoud kan de ruwheid van het gebied beperkt worden, door begroeiing laag te houden. Het tijdraam en de omstandigheden waarin dit onderhoud gedaan kan worden, dienen hiermee in overeenstemming te zijn.

Vanuit verschillende overwegingen is het verstandig om de huidige situatie als basis te nemen voor een nieuwe inrichting van het gebied. Op deze manier kunnen karakteristieke aspecten van de uitgangssituatie behouden en kosten bespaard worden. Het is mogelijk om het bestaande krekensysteem als basis voor de inrichting van de waterhuishouding te gebruiken. Tevens kan het raakvlak tussen de waterhuishouding en toekomstige recreatie meegenomen worden. Rekening kan worden gehouden met de landschappelijke aantrekkelijkheid en bevaarbaarheid van de krekens.

Figuur 2.1: In het landschap waarneembare patroon van oorspronkelijke krekens



Een ander essentieel aspect voor de inrichting van het doorstroomgebied is de morfologische stabiliteit van de kreken. Hieraan zijn immers de terugkerende kosten van onderhoudsbaggerwerk gerelateerd. Deze kosten kunnen geminimaliseerd worden door de sedimentatie (of erosie) te beperken. Het is echter onbekend hoe de morfologische consequenties voor de waterhuishouding van dit gebied bepaald kunnen worden, aangezien de hydraulische randvoorwaarden voor het gebied zeer complex zijn:

- Aan de bovenstroomse zijde wordt, afhankelijk van de waterstanden, een debiet binnen gelaten. Dit debiet kan sterk fluctueren door de jaarlijkse variatie in afvoer van de Rijn.
- De benedenstroomse zijde van het doorstroomgebied is open. Getij invloed werkt daarom door op de waterstanden in het gehele gebied.

De beperkte beschikbaarheid van informatie over dergelijke doorstroomgebieden vormt de aanleiding voor dit onderzoek. Meer concreet wordt de kern van dit afstudeerwerk gevormd door de vraag:

- Hoe ziet een morfologisch stabiel krekensysteem in een benedenrivierengebied eruit.

Uit voorgaande analyse kunnen al ontwerpvoorkeuren afgeleid worden met betrekking tot het ontwerp van een dergelijke watersysteem.

- Beperkt onderhoudsbaggerwerk, door morfologisch evenwicht;
- Lage hydraulische weerstand, door regelmatig onderhoud vegetatie;
- Herstellen van oorspronkelijke functie kreken;
- Recreatie functie Noordwaard vergroten;

2.1.1. Probleemstelling

Hoe ziet een evenwichtig watersysteem, voor een doorstroompolder met getijde invloed in het benedenrivierengebied, eruit?

2.1.2. Doelstelling

Dit onderzoek richt zich op de morfologie van getij beïnvloede doorstroomgebieden, leidend tot ontwerpvoorstellen omtrent de inrichting van een evenwichtig watersysteem voor de Noordwaard.

De volgende vragen verdienen hierbij aandacht:

- Wat zijn de eisen die gesteld worden aan een krekensysteem in een doorstroomgebied?
- Hoe kan een dergelijk gebied op een eenvoudige manier gemodelleerd worden? Hoe betrouwbaar is de gekozen modellering?
- Wat zijn de morfologische consequenties van de huidige plannen voor de Noordwaard?
- Wat is de invloed van de (jaarlijkse) variatie in Rijn afvoeren op de morfologische stabiliteit van de kreken?
- Wat is het effect van getij op de morfologie van een doorstroomgebied?
- Is een eenvoudige benadering mogelijk voor het effect van vegetatie op de stabiliteit van de kreken?

2.2 Actoren

De verschillende actoren die betrokken zijn bij de verwezenlijking van de in de inrichting van het doorstroomgebied van de Noordwaard zijn:

Betrokkenen:

Onder de categorie betrokkenen vallen de actoren die belangen hebben in de Noordwaard. Dit kan betrekking hebben op de verschillende functies als wonen, werken en recreatie. De nieuwe inrichting van de Noordwaard dient in overeenstemming te zijn met de eisen van deze groep.

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| • Bewoners | Veiligheid/ Woonkwaliteit |
| • Boeren | Uitkopen of verplaatsen |
| • Recreanten | Verbeteren inrichting |
| • Overige belanghebbenden | Variërende belangen |

Ontwikkelaars:

Binnen de categorie ontwikkelaars vallen de actoren die inspraak hebben in de besluitvorming omtrent de inrichting van de Noordwaard. Bij deze instanties valt daarom veel informatie te winnen over besluitvorming en voorkeuren met betrekking tot de inrichting van de Noordwaard.

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| • Provincie Noord-Brabant | Ruimtelijke inrichting |
| • Regering | Besluitvorming |
| • Ministerie van VROM | Ruimtelijke ordening |
| • Ministerie van V&W | Ruimtelijke ordening |
| • Ministerie van LNV | Randvoorw. inrichting |
| • Milieuorganisaties | Randvoorw. inrichting |

Realisatie en ontwerp:

Deze groep bestaat uit actoren die verantwoordelijk zijn of worden voor de planuitwerking van de Noordwaard. Bij deze actoren kan Informatie ingewonnen worden over de ontwikkeling van plannen.

- | | |
|--|---------------------------|
| • Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland | Project ontwikkeling |
| • Bureau benedenrivieren | Project ontwikkeling |
| • Aannemers / bouwbedrijven | Ontwikkeling/ realisering |
| • Belangenverenigingen | Sturing ontwerpproces |

Deel II: Algemene analyse

Programma van eisen inrichting

Situatiebeschrijving

Oplossingsrichtingen

- Functies
- Principeoplossingen

Effectenanalyse

- Beschrijving verwachte effecten
- Beoordeling en overzicht effecten
- Interessante ontwerpmaatregelen

3. Programma van eisen inrichting

In dit programma van eisen worden de algemene eisen voor een krekensysteem beschreven. De uitgangspunten (§3.1), randvoorwaarden (§3.2) en ontwerpeisen (§3.3) in de globale analyse zijn grotendeels ontleend aan de functionele eisen voor een doorstroomgebied (hfst.7). In hoofdstuk 7 wordt het programma van eisen voor de detailanalyse (modellering) van het doorstroomgebied met krekens beschreven. De eisen en uitgangspunten worden verdeeld in een aantal categorieën:

- Beheer;
- Geografie;
- Juridisch;
- Milieu & Ecologie;
- Recreatie;
- Scheepvaart;
- Veiligheid (Hydraulica).

3.1 Randvoorwaarden

Het ontwerp dient te voldoen aan een aantal eisen, deze worden in de randvoorwaarden verwoord.

Geografie

RG1 De hoogteligging binnen de Noordwaard mag niet op grote schaal gewijzigd worden, uitgezonderd de doorgangen onder de Bandijk.

RG2 De bodemgesteldheid van het gebied ligt vast.

Juridisch

RJ1 De plannen dienen te passen binnen het toetsingskader van de provincie.

RJ2 De inrichting van de Noordwaard dient in overeenstemming te zijn met de MER Ruimte voor de rivier deel 1 (2005).

Milieu & Ecologie

RM1 Vervuild slib (klasse 3 en hoger) mag niet gemobiliseerd worden. Als dit toch kan optreden, dient gesaneerd te worden.

RM2 De waterhuishouding binnen de polder dient in overeenstemming te zijn met de te verwezenlijken vegetatie.

Veiligheid

RH1 De Noordwaard dient, onafhankelijk van de inrichting, aan de korte en lange termijn taakstellingen te voldoen.

RH2 De afstand van een nevengeul tot een waterkerende dijk dient de faalkans van een dijk niet significant te beïnvloeden.

RH3 De verwachte zeespiegelrijzing dient meegenomen te worden in de beoordeling van de varianten.

3.2 Uitgangspunten

De uitgangspunten worden gevormd door voorkeuren, welke als richtlijnen kunnen dienen bij het ontwerp. De voorkeuren hebben betrekking op de optimalisatie van de milieukwaliteit en functionele aspecten, alsmede het minimaliseren van veiligheidsrisico's, sociale gevolgen en kosten.

Beheer

- UB1 Onderhoud van kreken in het doorstroomgebied dient beperkt te worden.
- UB2 De hydrologie van het doorstroomgebied dient afgestemd te zijn op de afspraken die gemaakt zijn met de landbouwers.
- UB3 De concretisering van milieuvorkeuren wordt in overleg met de landbeheerders uitgewerkt.

Hydraulica

- UH1 De morfologie van het doorstroomgebied wordt hoofdzakelijk bepaald door niet maatgevende (dagelijkse) hydraulische omstandigheden, waardoor benedenstroomse invloed dominant is.

Milieu & Ecologie

- UM1 Er wordt gestreefd naar het verwezenlijken van een grote diversificatie in leefmilieus voor dieren.
- UM2 De vorm van de kreken dient zoveel mogelijk aan te sluiten bij natuurlijke vormen/dimensies (uitgangssituatie).
- UM3 De oeverlengte van de kreken dient relatief lang te zijn.
- UM4 Overlast door muggen dient beperkt te worden.
- UM5 Een grote getijdynamiek en getijdoordringing heeft de voorkeur.
- UM6 De overstromingsfrequenties binnen het doorstroomde gebied dienen gedifferentieerd te worden.

Recreatie

- UR1 Recreatieve functies dienen zoveel mogelijk betrokken te worden in de mogelijke inrichting van de Noordwaard.
- UR2 Er is voorkeur voor een open verbinding van tenminste één kreek met de Nieuwe Merwede.
- UR2 De breedte en diepte van kreken dient overeen te stemmen met de eisen van gangbare recreatieve vaartuigen.

Scheepvaart

- US1 Hinder voor de scheepvaart door verondieping van de vaargeul benedenstrooms van de inlaat dient voorkomen te worden.

Veiligheid

- UV1 De ruimtelijke inrichting wordt zodanig gerealiseerd dat het doorstroomgebied goed bereikbaar is, en eenvoudig te evacueren.

3.3 Programma van eisen

Het programma van eisen geeft concrete richtlijnen voor het ontwerp.

Veiligheid

- PV1 De Noordwaard voert bij een maatgevend hoogwatergolf van $16000\text{m}^3/\text{s}$ een piekdebiet van $3000\text{m}^3/\text{s}$ af, waardoor ter hoogte van de inlaat de waterspiegel met circa 80cm daalt.
- PV2 De minimale afstand van een nevengeul tot de dichtstbijzijnde dijk bedraagt 100 meter.

Recreatie

- PR1 Een kreek met een open verbinding naar de Nieuwe Merwede dient minimaal 8m breed en een bodemligging van ten hoogste NAP +0,5m te hebben.
- PR2 Stroomsnelheden op de krekten dienen onder normale omstandigheden kleiner dan 2m/s te zijn.

Beheer

- PB2 De te verwezenlijken vegetatie in het gebied is ruig grasland en moeras.

Milieu & Ecologie

- PM1 Per vegetatie type kan het maximaal aantal overstromingsdagen uitgezet worden:
- | | |
|--------------------|------------|
| Extensief grasland | <100 dagen |
| Ruigte | <150 dagen |
| Moerasspirea | hele jaar |
| Riet | hele jaar |
- PM2 De stroomsnelheid in de krekten dient gedurende een deel van de getijcyclus boven de 0,5m/s te liggen.
- PM3 Het profiel van de geul/kreek dient bijvoorkeur driehoekig te zijn, met een flauw en een steil talud (1:30 en 1:5).
- PM4 De bodemhoogte wordt zodanig gekozen dat tenminste 1 meter speling aanwezig is t.o.v. gemiddeld laag water (GLW).
- PM5 Een meanderende loop verdient de voorkeur, vanwege de grote oeverlengte en de ruimtelijke variatie in stroomsnelheden.
- PM6 De graasdruk in het gebied dient gezoned te zijn.
- PM7 Doorgaande bosschages naar woonkernen zijn er bijvoorkeur niet, i.v.m. muggen.
- PM8 Uniformiteit en grote eenheden van één ecotoop worden vermeden, i.v.m. muggen.

4. Situatiebeschrijving

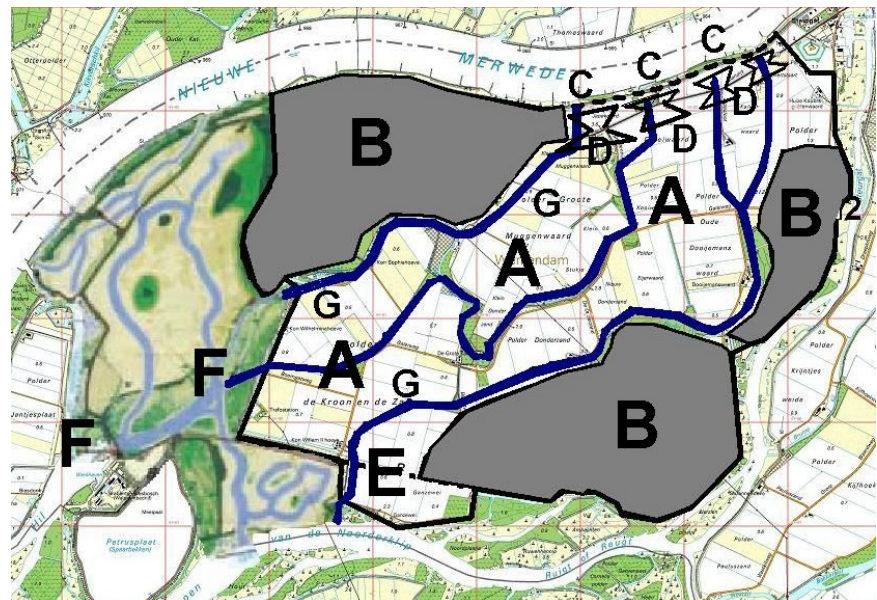
In dit hoofdstuk wordt het landbouwgebied Noordwaard, vanuit verschillende ruimtelijk te onderscheiden delen, beschreven. De beschrijving heeft betrekking op het concept plan 'Middendoor', zoals dit in het rapport 'Benedenrivieren in samenhang' (Bureau benedenrivieren, 2003) naar voren komt. De beschrijving behelst echter geen ontwerp, maar een overzicht van de actuele stand van zaken in de planvorming.

4.1 Onderdelen Noordwaard

Uitgaande van de globale inrichting van de Noordwaard volgens het model 'Middendoor' kunnen verschillende inrichtingscomponenten onderscheiden worden:

- A. Doorstroomgebied;
- B. Zomerpolders;
- C. Inlaatconstructie;
- D. Bruggen Bandijk;
- E. Zuidelijke uitlaat;
- F. Zuidwestelijke uitlaat;
- G. Kreken.

Figuur 4.1: Overzicht Noordwaard met een geprojecteerd krekensysteem (volgens concept 'Middendoor').



4.2 Land in doorstroomgebied

Bij hoge afvoeren zal het landbouwgebied de Noordwaard deels onder water staan. Dit zogenaamde doorstroomgebied wordt in ontwerpstudies verdeeld in verschillende deelgebieden. Deze deelgebieden verschillen in hoogteligging en kunnen in sommige gevallen beschermd worden door een kleine kade, namelijk:

-
- Door lage kades omringd land (kade ca. NAP +1,5 m);
 - 'Hoog' gelegen land (ca. NAP +0,8m);
 - 'Laag' gelegen land (ca. NAP + 0,5m).

Deze deelgebieden worden gekenmerkt door verschillende overstromingsfrequenties, en kennen daarom een andere inrichting. De omkade gebieden zijn voor zowel melk- en vleesvee geschikt. In de hoger gelegen (niet omkade) delen van het doorstroomgebied kan (extensieve) veeteelt bedreven worden. Voor het lage deel ligt een natuurlijke invulling voor de hand.

De deelgebieden van het doorstroomgebied die beschermd zullen worden door (lage) kades liggen nog niet vast. Het ligt echter wel voor de hand om voor een te omkaden gebied één of enkele van de oorspronkelijke (sub)polders te kiezen. Het verdient de voorkeur deze omkade gebieden aan de zomerpolders te laten grenzen, aangezien de agrariërs dan op beperkte afstand van hun land kunnen wonen. Ook met betrekking tot de veiligheid (korte vluchtroutes) verdient dit de voorkeur.

4.3 Zomerpolders

De zomerpolders aan de noordwest en zuidoost rand inunderen slechts bij extreme afvoeren op de Rijntakken. Bij deze extreme afvoeren zorgen de zomerpolders voor een verbeterde doorstroming en een vergroting van het bergend oppervlak, waardoor meer water geacommodeerd kan worden binnen de Noordwaard. Onder normale omstandigheden kan zowel akkerbouw als veeteelt bedreven worden in de zomerpolders. In bijlage B is een korte voorstudie verricht naar het bergend effect van zomerpolders.

4.4 Inlaatconstructie

De huidige concepten voor de inlaatconstructie bestaan uit een drempel die ongeveer een meter boven het maaiveld uitkomt, waardoor de kruinhoogte ongeveer op NAP +2m komt te liggen. De breedte van de drempel is circa twee kilometer. Met behulp van eenvoudige bodembeschermende maatregelen wordt de overlaat beschermd tegen erosie. Achter de drempel dienen waaivormige geulen gegraven te worden die het water naar de openingen onder de Bandijk leiden (Bureau benedenrivieren, 2004). Door het 'Projectbureau Benedenrivieren' wordt nog onderzocht:

- Relatie tussen breedte (en hoogte) drempel én MHW effectiviteit Noordwaard;
- Openingen in de inlaatdrempel, waarbij water continu door krekken afgevoerd wordt (zie ook de korte voorstudie in Bijlage C).

4.5 Bruggen Bandijk

Het water wordt, zoals in paragraaf 4.4 is beschreven, via de waaivormige geulen naar een aantal openingen in de Bandijk geleid. Om de hydraulische weerstand te verlagen is de bodem ter plaatse

van de doorgangen sterk verdiept. Achter de Bandijk wordt het water met een vergelijkbare waaivormige geul weer verspreid. Deze doorgangen worden ten behoeve van het verkeer overspannen door bruggen. In het ontwerp wordt rekening gehouden met vier à vijf overspanningen, van enkele tientallen meters breed. Een aantal zaken die onderzocht (kunnen) worden, zijn:

- De benodigde totale breedte van de doorstroom openingen;
- Het optimaal aantal openingen (veel smalle of weinig brede openingen);
- Oriëntatie van de openingen op de stroomrichting (bijv. 80° of 90°);
- Diepte van de doorstroom openingen.

4.6 Uitlaat

Op twee plaatsen wordt water vanuit de Noordwaard naar geulen van de Biesbosch afgevoerd, namelijk:

- Zuidelijke uitlaat, ter hoogte van het Biesbosch museum bij het Gat van de Noorderklip en het Gat van de Kampen;
- Zuidwestelijke uitlaat, oostelijk van polder 'Malta' bij het Gat van de Kleine Hil.

Op beide locaties wordt een vergelijkbaar deel van de totale afvoer afgevoerd naar de geulen van de Biesbosch. Daarbij is het belangrijk een zo groot mogelijk deel van deze afvoer via de zuidwestelijke uitlaat af te voeren. De reden hiervoor is dat de zuidelijke uitlaat de waterstanden op de Amer negatief kan beïnvloeden, waardoor de maatgevende waterstanden op de Maas toenemen. De invloed van aanpassingen aan de uitlaatwerken op de effectiviteit van de Noordwaard wordt onderzocht (Rijsdorp, persoonlijke communicatie). Enkele van deze aanpassingen zijn:

- Verbreding zuidwestelijke uitlaat;
- Verdieping zuidwestelijke uitlaat;
- Versmalling zuidelijke uitlaat;
- Verdieping Gat van de Noorderklip;
- Verdieping Gat van de kleine Hil;
- Doorsteek tussen Nieuwe Merwede en Gat van de kleine Hil.

4.7 Kreeken

De ontwerpen voor de inrichting van het kreekstelsel binnen de Noordwaard zijn nog niet vastgelegd. In de uitgangssituatie worden echter nog contouren van oorspronkelijke kreeken onderscheiden. Deze kunnen als basis dienen voor een nieuw kreekstelsel. Bij het ontwerp dienen verder een aantal belangrijke aspecten betrokken te worden, namelijk:

- Ecologische aspecten betrokken bij het ontwerp van een kreek;
- Morfologische stabiliteit van kreeken in relatie tot de loop en profiel van de kreek;
- Hydrologische aspecten met betrekking tot de drooglegging van het land.

Omdat de effecten van bovenstaande aspecten op het krekensysteem niet over het gehele doorstroomgebied dezelfde zijn, wordt onderscheid gemaakt tussen de effecten op verschillende locaties. Drie duidelijk verschillende delen van de loop van de kreek komen naar voren:

- Kreken midden doorstroomgebied;
- Kreken zuidzijde doorstroomgebied;
- Kreken aan noordzijde doorstroomgebied in aansluiting met openingen in de Bandijk.

Tevens worden andere functies in het gebied betrokken in het ontwerp (Rijdsdorp, 2005), zoals:

- Kreken met een open verbinding naar de Nieuwe Merwede (bijlage C);
- Bevaarbaarheid kreken vergroten.

4.8 Focus rapport

In de probleemanalyse (Hfst.2) is gekozen om dit rapport toe te spitsen op de morfologie van kreken in een door getij beïnvloede rivier bypass. Om de inrichtingseisen voor kreken te verduidelijken wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de functies van de kreken. De hieruit voortkomende principeoplossingen worden in hoofdstuk 6 getoetst op verwachte (morfologische) effecten.

5. Oplossingsrichtingen

In dit hoofdstuk worden de eisen aan een onderhoudsarm en ecologisch interessant krekensysteem in een doorstroomgebied geïnventariseerd. Deze eisen worden onderverdeeld in verschillende categorieën, waarna de eenduidige en conflicterende voorkeuren worden onderscheiden (§5.2). Door middel van deze voorkeuren worden principeoplossingen vastgesteld (§5.3). Deze principeoplossingen geven een algemeen beeld van de mogelijke ontwerpvarianties.

5.1 Literatuur voorkeuren

De inrichting van de Noordwaard kan gerealiseerd worden binnen de bandbreedte die overblijft als aan de randvoorwaarden -met betrekking tot de MHW afvoeren en waterstand daling op de Merwede- voldaan is [PV1]. De (mogelijke) functies van het krekensysteem dienen tegen elkaar afgewogen te worden. Een belangrijk aspect hierin is de ecologie van het doorstroomgebied. Daarnaast spelen belangen met betrekking tot landgebruik en beheer een voorname rol. Voor de mogelijke invulling van het krekensysteem van de Noordwaard zijn voorkeuren uit de literatuur over nevengeulen beschouwd (Duel et al., 1993; Wolters et al., 2001). Deze voorkeuren worden ruw gescheiden in de volgende categorieën:

- Ecologie;
- Hydraulica;
- Morfologie;
- Functionaliteit.

Ecologie

- Afzonderlijke macro en micro habitats dienen gecreëerd te worden.
- Stroomluwe plaatsen in de kreek kunnen als paaigebied dienen.
- Bijvoorkeur een gezonede graasdruk rond de kreek.
- De diepte van de drempel is bijvoorkeur lager dan OLR*, dus permanent stromend (*Overeengekomen lage rivierstand).
- Stroomsnelheden in de kreek die permanent groter zijn dan 0,2-0,3m/s zijn optimaal (voor stroomminnende organismen).
- De overstromingsfrequenties binnen het doorstroomgebied dienen gedifferentieerd te worden (geleidelijke overgang ecotopen).
- Variatie in oevertaluds, liever flauw dan stijl (i.v.m. dynamische land-water overgangen).
- Een grote oeverlengte verdient de voorkeur.
- De kreek dient aan te sluiten bij natuurlijke vormen/dimensies.

Hydraulica

- Een rechte loop van de kreek, om water snel af te voeren.
- Beperken weerstand (vegetatie) ten behoeve van de hydraulische effectiviteit.

Morfologie

- Ontwerp dat ruimte biedt om sedimentatie en erosieprocessen hun gang te laten gaan.
- Relatief klein dwarsoppervlak van de geulen (beperken sedimentatie door de hoge stroomsnelheden).
- Aanleg van een zandvang aan bovenstroomse zijde.
- Aansluiting van de nevengeul in de buitenbocht van een rivier (i.v.m. sedimentverdeling).
- Aantal vertakkingen beperken, in verband met stabiliteit splitsingspunten en sedimentatie dode takken.
- Sedimentatie beperken door de inundatiefrequentie te verlagen.

Functionaliteit

Landbouw

- Beperking van de inundatiefrequentie binnen het doorstroomgebied.
- Grote uniforme landbouwarealen.

Beheer

- Beperking van de inundatiefrequentie in de zomerperiode (ten behoeve van het onderhoud aan de vegetatie).

Recreatie

- Kreken voldoende bevaarbaar.
- Bevaarbare aansluiting van de kreken op de Nieuwe Merwede.

Leefbaarheid

- Vermijden van uniformiteit en grote eenheden van één ecotoop (beperking overlast door muggen).
- Hoge inundatiefrequentie om de ontwikkelingskansen van muggenpopulaties te beperken.
- Geen doorgaande bosschages naar woonkernen (werken als corridor voor muggen).
- Isoleren van broedplaatsen met bosschages (beperking overlast door muggen).

5.2 Eenduidige en conflicterende voorkeuren

Met behulp van de voorkeuren kan een principeoplossing samengesteld worden. Dit is echter niet eenvoudig, omdat er naast eenduidige ook conflicterende voorkeuren te onderscheiden zijn. De eenduidige aspecten dienen als basis voor een referentieontwerp. Met behulp van de conflicterende voorkeuren zijn ontwerpvarianten bepaald. Enkele eenduidige voorkeuren worden hier weergegeven.

Tabel 5.1: Eenduidige voorkeuren.

Eenduidige voorkeuren	
Voorkeur	Kader
Aansluiten bij bestaande situatie	Ecologie, Functionaliteit
Vermijden uniformiteit inrichting	Ecologie, Functionaliteit
Variatie oevertaluds	Ecologie
Grote oeverlengte	Ecologie, Recreatie

De conflicterende voorkeuren ontstaan in de meeste gevallen doordat ecologische voorkeuren botsen met andere aspecten. In tabel 5.2 worden tegengestelde voorkeuren aangegeven.

Tabel 5.2: Conflicterende voorkeuren.

Conflicterende voorkeuren				
Ontwerpvariabele	Voorkeur	Kader	Voorkeur	Kader
Stroomsnelheden	Variëren	Ecologie	Hoog	Morfologie
Diepte kreken	Ondieper	Ecologie	Dieper	Recreatie
Uniformiteit vegetatie	Meer	Ecologie, Leefbaarheid	Minder	Landbouw, Veiligheid
Diff. inundatie frequentie	Meer	Ecologie, Leefbaarheid	Minder	Beheer, Morfologie
Loop	Meanderend	Ecologie	Direct	Hydraulica
	Vertakt	Ecologie	Onvertakt	Morfologie
Ruimte voor Erosie	Meer	Ecologie, Morfologie	Minder	Recreatie, Landbouw
Aansluiting Nieuwe Merwede	Open	Ecologie, Recreatie	Niet, Duiker*	Morfologie

* Ten behoeve van de morfologie eventueel gecontroleerd met een duiker.

5.3 Principeoplossingen

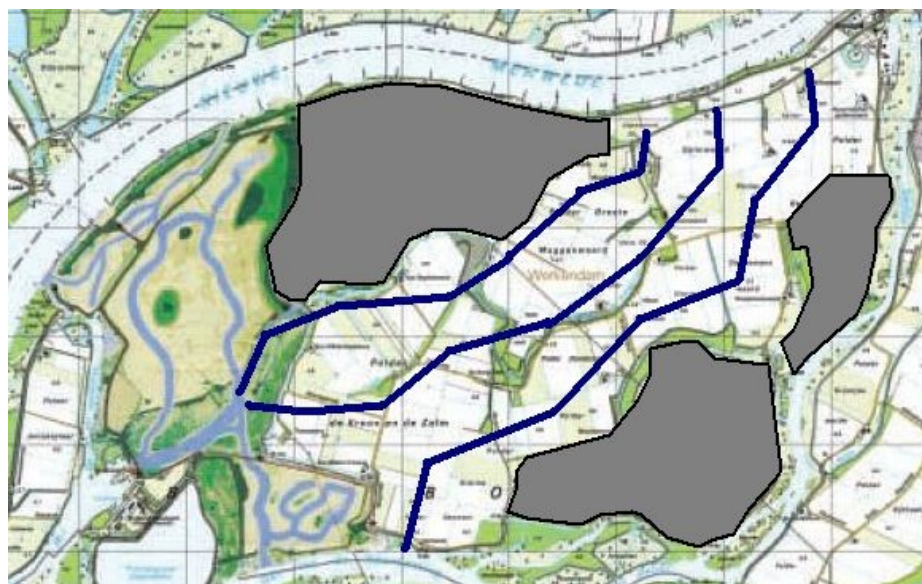
In deze paragraaf wordt een referentieontwerp onderscheiden, door de eenduidige voorkeuren toe te passen op de lokale situatie (§5.3.1). Dit ontwerp is vervolgens vereenvoudigd, waarna enkele varianten op het referentieontwerp zijn afgeleid (§5.3.2). Hiervoor zijn de belangrijkste kenmerken van de conflicterende voorkeuren gebruikt. Deze voorkeuren zijn ook gebruikt om een voorkeursdwarsprofiel te bepalen (§5.3.3).

5.3.1. Referentieontwerp

De eenduidige voorkeuren, die bepalend zijn voor enkele belangrijke eigenschappen van het referentieontwerp, luiden als volgt :

- Aansluiten bij bestaande situatie â drie kreken;
- Vermijden uniformiteit, grote oeverlengte â licht meanderende loop.

Figuur 5.1: Referentieontwerp.



5.3.2. Varianten op referentieontwerp

De variaties op dit 'basisontwerp' worden bepaald door de bijbehorende ontwerpvariabelen van de conflicterende voorkeuren aan te passen. De belangrijkste aspecten, met hun morfologische en hydraulische gevolgen, die daarbij een rol spelen worden in tabel 5.3 weergegeven:

Tabel 5.3: Invloed aspecten op ontwerp.

Aspecten voorkeuren	Invloed op ontwerp
Loop	Stabiliteit ligging kreken
Vertakkingen	Stabiliteit ligging kreken, Stroomsnelheden
Profiel	Stroomsnelheden in kreken (Morfologie)
Aansluitingen	Morfologie kreken
Hoogteligging / omkading	Morfologie kreken
Aanpassing vegetatie	Stroomsnelheden in kreken (Morfologie)
Aanpassing getijde r.v.w.	Stroomsnelheid/debiet in kreken (Morfologie)

De precieze invulling van het ontwerp is afhankelijk van de voorkeuren van betrokkenen en besluitvormers. Ten behoeve van een goede afweging zijn daarom verschillende ontwerpkeuzes in onderstaande oplossingsprincipes verduidelijkt, waarna een afweging gemaakt kan worden tussen de kosten en baten van bepaalde ontwerpkeuzes. Alle varianten worden gerelateerd aan een basisvariant die uitgaat van een eenvoudig (recht) krekensysteem (dus niet het referentieontwerp).

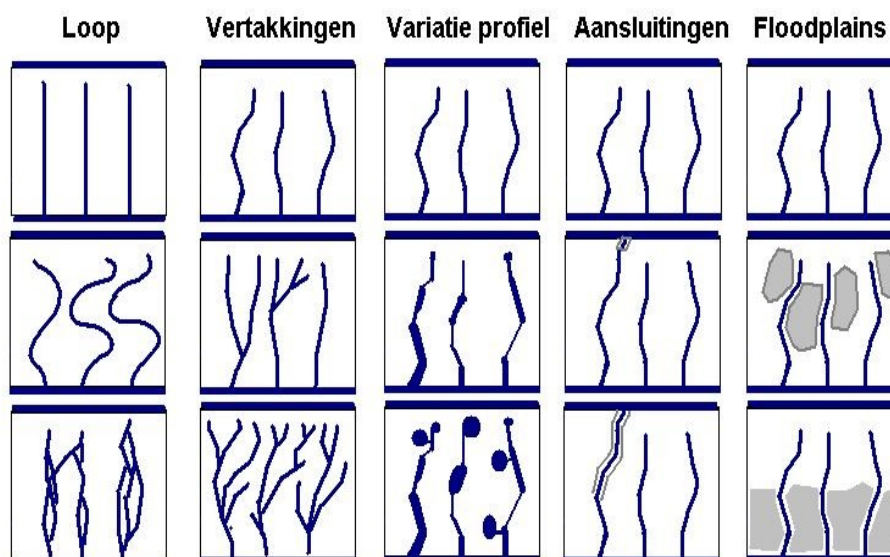
Tabel 5.4: Variatie ontwerp op conflicterende voorkeuren.

Variatie aspecten	Basis variant	Variant 1	Variant 2
Loop	Recht	Meanderend	Vlechtend
Vertakkingen	Onvertakt (Basis)	Deels vertakt	Vertakt
Profiel	Homogeen (Basis)	Gevarieerd	Aangetakt water
Aansluitingen	Geen (Basis)	Duiker	Open verbinding
Hoogteligging	Initieel (Basis)	Omkade polders	Intergetijden
Aanpassing vegetatie*	Middelgrote weerstand	Lage weerstand	Hoge weerstand
Aanpassing getijde*	Schijn getij	Gedempt getij	Geen getij

* Aanpassing van de vegetatie of het getijde is geen ruimtelijke inrichtingsvariant. De effecten hiervan zijn echter wel interessant voor de gevoeligheid van het probleem, en omdat de Kier (zie literatuur) momenteel erg actueel is.

De vijf (ruimtelijke) varianten worden in Figuur 5.2 gevisualiseerd.

Figuur 5.2: Weergave ontwerpvarianten.



5.3.3. Dwarsprofiel

Met betrekking tot de dwarsprofielen zijn de ecologische, morfologische en recreatieve eisen tegen elkaar afgewogen. De belangrijkste eisen zijn de volgende:

- Smalle kreek (morfologie);
 - Hoge stroomsnelheden → minder sedimentatie.
- Flauwe taluds (ecologie);
 - variatie inundatiefrequentie;
 - geleidelijke land-water overgang.
- Diepere kreek (recreatie);
 - geschikt voor pleziervaart.

Om aan de ecologische eis tegemoet te komen, is gekozen voor een dwarsprofiel met flauwe taluds (kleiner dan 1:10) ter hoogte van de waterlijn. Om stroomsnelheden hoog te houden, is de breedte van de kreek enigszins beperkt door een wat steiler talud dieper in het water toe te passen. Dit is tevens gunstig voor de recreatieve vaart.

.....
Figuur 5.3: Dwarsprofiel kreek met flauwe taluds ter hoogte van de waterlijn.



5.4 Uitwerking oplossingsprincipes

De oplossingsprincipes in paragraaf 5.3 geven een beeld van de ontwerpparameters die een rol spelen bij het ontwerp van een kreekstelsel. In hoofdstuk 6 worden deze principes globaal beoordeeld, nadat de verwachte effecten in kaart zijn gebracht.

6. Algemene effectenanalyse

In dit hoofdstuk wordt globaal de verwachting geschetst van de effecten die verschillende variaties op het basisontwerp van het krekensysteem hebben (§6.1 en §6.2). Deze effecten worden tevens beoordeeld op verschillende criteria (§6.3) en de meest kansrijke (§6.4) worden meegenomen in de numerieke modellen van de detailstudie (hoofdstuk 8 en 9).

6.1 Algemene analyse

In dit hoofdstuk worden de morfologische effecten van de in hoofdstuk 5 genoemde varianten ingeschat. Hiervoor worden eenvoudige benaderingen gebruikt, waarmee de varianten kwalitatief vergeleken kunnen worden. Onderscheid is gemaakt tussen een vijftal effecten:

- Hydraulica;
- Morfologie;
- Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit;
- Functionaliteit.

Uitgangspunt voor de effectenanalyse is dat de invloed van de benedenstroomse rand dominant is voor de hydraulica en de morfologie van het doorstroomgebied.

Met betrekking tot de morfologie komen uit studies van onder andere De Gelder (2003), Van Wijngaarden (1998) en WL|Delft Hydraulics (1990) een aantal morfologische mechanismen van nevengeulen naar voren. De belangrijkste hiervan zijn:

- Verzanding uiteinden van de takken.
- Bij een toename van het getijprisma zal de sedimentatie in de krekens licht afnemen. De sedimentatie in de omringende 'hoge gronden' en de uiteinden van de krekens neemt echter toe (meer getijprisma betekent ook meer toegevoerd sediment).
- Grote variaties in het dwarsprofiel zorgen voor een versterkte sedimentatie.
- Tweede orde effecten spelen een rol: Als bijvoorbeeld verhoogde sedimentatie aan de zuidzijde optreedt, zal aan de noordzijde minder sediment aanwezig zijn en dus ook minder bezinken.
- De loopstabiliteit van een kreek is groter naarmate de hydraulische omstandigheden regelmatig zijn en de stroomsnelheden (en debieten) groter.

De ecologische, ruimtelijke en functionele aspecten worden bepaald door hydraulische zaken als getijdoordringing en gemiddelde stroomsnelheden, alsmede door de inrichting van het gebied. Dominant voor de hydraulica is het getijprisma, wat ook later duidelijk wordt bij het eerste model in hoofdstuk 9.

6.2 Ontwerp krekensysteem

In deze paragraaf worden de verwachte effecten van de verschillende oplossingsprincipes beschreven.

6.2.1. Effecten variatie loop

De effecten van de volgende varianten worden beschreven:

- Meanderende loop van de krekten;
- Vlechtende loop van de krekten;
- Vertakte loop van de krekten.

Hydraulica

De getijdoordringing bij een meanderende loop is iets kleiner dan bij een rechte loop. Dit hangt samen met de grotere lengte van de krekten, waardoor het getijprisma, afhankelijk van de lokale afmetingen, enigszins beperkt is. Een wijd vertakt netwerk van krekten kan, afhankelijk van de omstandigheden, de getijdoordringing ook vergroten. Voor de vlechtende variant is geen grote verandering te verwachten.

Morfologie

De veranderingen in stroomsnelheden bij de meanderende loop zijn beperkt, waardoor ook de sedimentatie niet sterk toeneemt. Door de grotere lengte kan soms in het bovenstroomse deel minder sedimentatie voorkomen. Bij de vlechtende variant treedt lokaal wel meer sedimentatie op. Dit komt door de variatie in het aantal krekten, waardoor de stroomsnelheden niet constant zijn. De sedimentatie in een vertakt krekensysteem zal aanzienlijk groter zijn dan in een onvertakt systeem, omdat de stroomsnelheden aan de uiteinden van de krekten laag zijn. Aan deze uiteinden zal sterke aanslibbing optreden.

Een variant met rechte krekten is het meest stabiel. Van de andere twee blijkt de meanderende variant nog relatief stabiel. Bij de vlechtende en vertakte variant zullen na verloop van tijd takken dichtslibben. Verwacht wordt dat een grote onderhoudsinspanning geleverd dient te worden om dit te voorkomen.

Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit

Alle varianten hebben een positieve invloed op de beleving van het landschap. Er wordt meer ruimte geboden voor de ontwikkeling van flora en fauna, ook de hydraulische dynamiek neemt toe. De vlechtende variant vindt men normaal in bovenstroomse rivieren, en is daarom niet gebiedseigen.

Functionaliteit

De gevolgen van de meanderende loop op de inrichting van het gebied zijn beperkt. Daarentegen beïnvloeden de vlechtende en vertakte variant de bevaarbaarheid van de krekten (recreatie) negatief en bemoeilijken tevens de agrarische inrichting van het gebied (in verband met doorsnijding van kavels etc).

6.2.2. Effecten variatie dwarsprofiel

De effecten van de volgende varianten worden beschreven:

- Variatie in het dwarsprofiel over de lengte;
- Aantakken van watertjes aan de kreken.

Hydraulica

Het aanbrengen van variatie in het dwarsprofiel, door het plaatselijk verbreden of versmallen, van de kreken heeft slechts een beperkte invloed op de komberging en het daarmee samenhangend getijprisma. De stroomsnelheden zullen echter wel sterker variëren dan in de referentiesituatie. Het aantakken van meertjes aan de kreken zal de komberging bij waterstanden beneden gemiddeld maaiveldniveau doen toenemen, en daarmee het getijprisma vergroten.

Morfologie

Bij variatie van het profiel zullen stroomsnelheden lokaal verschillen. De aanslibbing zal zich concentreren op plaatsen waar het profiel verbreed of verdiept is, waardoor zich een grotere sedimentatie voordoet. Het aantakken van meertjes daarentegen leidt tot verminderde aanslibbing in de kreken. In de meertjes zal echter aanzienlijke aanslibbing optreden. Het aangetakte water kan het beste aan de noordzijde van het gebied gerealiseerd worden, zodat stroomsnelheden over de hele lengte van de kreken toenemen.

Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit

Variatie in de dwarsprofielen zorgt voor ruimtelijke verschillen in stroomsnelheden. Tevens bieden deze alternatieven een grotere diversiteit aan habitats, waardoor er ruimte is voor meer soorten vissen. De stroomluwe delen van meertjes zijn geschikt als paaigebied voor vissen. Beide maatregelen zijn landschappelijk interessant en dragen bij aan de aantrekkelijkheid van het gebied

Functionaliteit

Het aantakken van meertjes is interessant voor de recreatie.

6.2.3. Effecten variatie hoogteligging

De effecten van de volgende varianten worden beschreven:

- Omkade delen doorstroomgebied (Noord- of zuidzijde);
- Verlagen doorstroomgebied tot intergetijden (Noord- of zuidzijde).

Hydraulica

Het getijprisma neemt af als delen van het gebied afgesloten worden met kaden. Verlaging van het gebied zorgt juist voor een vergroting van het getijprisma. De getijdoordringing is afhankelijk van de locatie van de kaden/intergetijden. Als een relatief groot deel van het getijprisma aan het uiteinde van de kreken ligt, is de getijdoordringing het grootst, waardoor de stroomsnelheden gelijkmatiger zullen zijn.

Morfologie

Door het zuidelijk deel van het doorstroomgebied met kaden te beperken of het noordelijk deel te verlagen, verandert het sedimentatiepatroon in de kreken. Door een grotere getijdoordringing

zijn de stroomsnelheden in de kreken gelijkmatiger en zal sedimentatie in het zuidelijk en middendeel afnemen, en in het noordelijk deel toenemen. De stabiliteit van de loop is echter aanzienlijk beter. Voor de twee andere opties geldt het omgekeerde (tabel 6.1).

Tabel 6.1: Invloed van variatie in de hoogteligging op de morfologie van de kreken.

Maatregel	Sedimentatie midden/zuid	Sedimentatie noord
Omkading noord	-	+
Omkading zuid	++	-
Verlagen noord	++	--
Verlagen zuid	-	o

* Beoordeling op meer (-) of minder (+) sedimentatie

Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit

Het omkaden van het zuidelijk deel of verlagen van het noordelijk deel is interessant, omdat het getijprisma en de gemiddelde stroomsnelheden toenemen. De landschappelijke waarde van het gebied wordt positief beïnvloed door intergetijden, het omkaden beïnvloedt de ruimtelijke kwaliteit van het gebied licht negatief.

Functionaliteit

Het omkaden van delen van het doorstroomgebied vergroot de mogelijkheden tot agrarische bedrijfsvoering in dit gebied, aangezien de overstromingsrisico's beperkt worden. Hierdoor kan tevens bespaard worden op beheerskosten en biedt het gebied betere landbouw perspectieven. Door het verlagen van het doorstroomgebied tot intergetijden gebied wordt landbouw juist bemoeilijkt en de onderhoudskosten zullen groter zijn. De realisatie van een dergelijke verlaging is tevens lastig en de aanlegkosten zijn hoog.

6.2.4. Effecten variatie vegetatie/ruwheid

De effecten van de volgende varianten worden beschreven:

- Kale bodem kreken (relatief glad);
- Begroeide bodem kreken (relatief ruw).

Hydraulica

Het getijprisma zal bij een gladde bodem groter zijn, waardoor de piek van de stroomsnelheden groter is. Bij een hogere ruwheid zullen het getijprisma en de stroomsnelheden afnemen.

Morfologie

Bij een ruwe bodem met veel vegetatie wordt veel sediment ingevangen. Dit gebeurt met name in het zuidelijk deel van het gebied. De totale sedimentatie zal niet sterk te verschillen van de sedimentatie bij een zeer gladde bodem. De stroomsnelheden kunnen bij een gladde bodem vrij hoog worden, waardoor erosie optreedt. Het geroede materiaal zal echter elders weer sedimenteren. De stabiliteit van de kreken is beter indien deze hydraulisch gladder zijn.

Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit

De getijdoordringing bij een gladde bodem is groter dan bij een ruwe. Het is echter evident dat een ruwe bodem, met meer vegetatie, vanuit landschappelijk en ecologisch oogpunt de voorkeur verdient.

Functionaliteit

Het effect van de ruwheid op landbouw zal beperkt zijn. Voor de recreatie is een vegetatierijke kreek interessant.

6.2.5. Effecten aansluitingen Nieuwe Merwede

De effecten van de volgende varianten worden beschreven:

- Duikers als verbinding met de Nieuwe Merwede;
- Open verbinding Nieuwe Merwede (zie bijlage C).

Hydraulica

Door de afvoer van water vanuit de Nieuwe Merwede naar het doorstroomgebied ontstaat een netto afvoer van water door de krekken in zuidelijke richting. Hierdoor zijn de (gemiddelde) stroomsnelheden groter. Ook de getijdoordringing zal enigszins beperkt worden.

Morfologie

De morfologie van de krekken wordt bij een open verbinding of duiker bepaald door twee processen (Tabel 6.2).

Tabel 6.2: Processen die bepalend zijn voor de resulterende morfologie, bij aansluitingen aan de Nieuwe Merwede.

Proces	Achter inlaat	Krekken midden/zuid
Aanvoer extra slib	--	o
Permanente doorstroming	++	+

* Beoordeling op meer (-) of minder (+) sedimentatie

Het eerste proces betreft een versterkte aanvoer van sediment door de open verbinding of duiker, waardoor in de krekken benedenstreams van de aansluiting versterkte aanslibbing zal optreden. Het tweede proces behelst het positieve effect van de meer permanente doorstroming. Het is duidelijk dat de specifieke omstandigheden bepalen of het een morfologisch effectief middel is. Bij de open verbinding is de toetredende afvoer en duur hiervan tevens sterk afhankelijk van de dimensionering (breedte en bodemhoogte) van het kanaal. Door Jans et al. (2004) wordt aangegeven dat ook de stabiliteit van de instroomopening een lastig aspect is.

Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit

Door de demping van het getij zal de getijdynamiek afnemen. Het is echter wel mogelijk voor vissen om zich vanuit de krekken naar de Nieuwe Merwede te bewegen. Tevens zal de inundatie achter de overlaat toenemen, waardoor plas-dras land gevormd wordt.

Functionaliteit

Voor de recreatieve vaart heeft een open verbinding een duidelijke functie. De hoeveelheden slib en zand die ter plaatse van de monding afgezet worden, kunnen echter aanzienlijke onderhoudskosten met zich meebrengen. Tevens wordt de inundatiefrequentie in het gebied achter de overlaat vergroot, wat nadelig is voor de landbouw.

6.2.6. Effecten variatie getijde

De effecten van de volgende varianten worden beschreven:

- Gedempt getij/ Kier (nieuw beheer Haringvlietsluizen).

De effecten van een variatie in de getijamplitude zijn met name interessant om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van het ontwerp.

Hydraulica

Het verticale getij is bepalend voor het getijprisma. Voor 'De kier' geldt dus dat het getijprisma toeneemt, waardoor waterstanden en stroomsnelheden binnen het doorstroomgebied toenemen.

Morfologie

De aanslibbing in de kreken neemt af naarmate het getijprisma toeneemt, omdat de stroomsnelheden groter zijn. Door het grotere debiet zal echter ook meer slib de polder ingevoerd worden. De verwachting is dat de sedimentatie in de kreken lager is en de sedimentatie op de 'hoge gronden' groter. De stabiliteit van de kreken is groter naarmate het getijprisma groter wordt.

Ecologie / Ruimtelijke kwaliteit

De hydrodynamiek in het doorstroomgebied neemt toe bij een vergroting van het verticaal getij. De frequentere inundatie zorgt voor gevarieerdere vegetatie en een positieve beleving van het gebied.

Functionaliteit

De inrichting van het gebied, met name voor agrariërs, is minder eenvoudig als de getijdynamiek sterk toeneemt.

6.3 Beoordeling krekensysteem

6.3.1. Overzicht effecten

De effecten van de verschillende varianten op het principeontwerp worden in de tabel 6.3 weergegeven.

Tabel 6.3: Overzicht effecten van ontwerpvarianten.

Effecten doorstroomgebied		Hydraulica		Morfologie					Ecologie / R.kwal.			Functionaliteit			
Soort	Type	Getijprisma	Doordringing getij	Kreken Noord**	Kreken Midden	Kreken Zuid	Meertjes***	Stabiliteit kreken	Dynamiek stroomsnh.	Dynamiek getide****	Landschap	Recreatie	Landbouw	Onderhoudskosten*****	Uitvoering
Loop	Meanderend	-	-	0	0	+	0	0	-	++	++	0	0	0	+
	Vlechtend	0	0	0	-	-	0	-	0	++	++	0	0	-	+
	Vertakte kreken	+	+	0	-	-	0	-	+	+	++	+	-	-	+
Dwars profiel	Variatie profiel	0	0	-	-	+	-	0	0	++	+	0	0	-	+
	Aangetakt water	+	++	+	+	+	-	+	++	-	++	+	0	0	0
Hoogteligging	Omkading zuid	-	+	+	+	-	-	+	+	0	+	o/-	-	++	+
	Omkading noord	-	-	-	-	+	-	+	-	-	0	o/-	-	++	0
	Intergetijden zuid	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+++	+	-	-
	Intergetijden noord	+	+	++	+	-	-	+	+	+	+++	+	-	0	-
Vegetatie	Lage ruwheid *	+	+	+	+	-	-	0	+	-	-	0	0	-	-
	Vergrote ruwheid	-	-	-	-	+	-	+	0	-	+	+	0	0	+
Aansluiting NM	Duikers	0	-	-	o/-	+	o/-	+	-	0	+	0	-	0	+
	Open verbinding	0	-	-	o/-	+	o/-	-	-	0	+	++	-	-	-
Getijde	Kier	+++	+++	+	-	-	-	++	+++	+++	++	+	-	-	0

* Gerelateerd aan dichtheid vegetatie
 ** Uiteinden van de kreken
 *** Meertjes of verbredingen in dwarsprofiel
 **** Geaggregeerd over het doorstroomgebied
 ***** Onderhoud door begroeiing en sedimentatie

Score: 0 Vergelijkbaar met referentie
 +/- Licht positief/negatief effect
 ++/- Significant positief/negatief effect
 +++/- Sterk positief/negatief effect

6.3.2. Beoordeling principeontwerpen

Bovenstaande aanpassingen op het principeontwerp worden beoordeeld op hun effecten. Deze effecten zijn geaggregeerd tot drie algemene categorieën.

Tabel 6.4: Algemene beoordelingscriteria effecten.

Criteria	Funcities	Processen
► Functionaliteit	○ Recreatie	
	○ Landbouw	
► Beheer	○ Morfologie	▪ Sedimentatie ▪ Stabiliteit (erosie)
	○ Onderhoud vegetatie	
► Ecologie	○ Hydraulica	▪ Getijdoordringing ▪ Inundatiefrequentie ▪ Stroomsnelheden
	○ Ruimtelijke kwal.	▪ Natuurwaarde ▪ Oppervlakte v.d. krekken ▪ Taluds

Met behulp van bovenstaande criteria kan een beoordeling gemaakt worden van de inrichtingsvarianten. Deze aspecten kunnen afgewogen worden tegen de haalbaarheid en initiële kosten van de varianten. De beoordeling van de effecten van de varianten wordt in tabel 6.5 weergegeven.

Tabel 6.5: Beoordeling varianten op criteria.

Beoordeling effecten		Functionaliteit		Beheer		Ecologie		Haalbaarheid	
		Recreatie	Landbouw	Morfologie	Onderhoud vegetatie	Hydraulische dynamiek	Ruimtelijke kwaliteit	Uitvoering	Initiële kosten
Loop	Meanderend	○	○	○	○	+	++	+	○
	Vlechtend	○	-	-	○	+	++	+	○
	Vertakt	○	-	--	○	+	++	+	○
Dwarsprofiel	Variatie profiel	○	○	-	○	+	+	+	○
	Aangetakt water	+	○	○	○	+	+	○	-
Bodemhoogte	Omkading Zuid	○	++	+/○	+	○	-	+	--
	Omkading Noord	○	++	+	+	○	-	+	--
	Intergetijden Zuid	+	--	+	--	+	+	-	---
Vegetatie	Intergetijden Noord	+	--	○	--	+	+	-	---
	Lage ruwheid	○	○	+	--	-	--	-	○
Aansluiting NM	Vergrote ruwheid	+	○	--	+	+	+	+	○
	Duikers	○	-	-	-	+	+	+	-
Getijde	Open verbinding	++	-	--	-	+	+	-	-
	Kier	+	--	---	-	+++	++	+	○

Score: ○ Vergelijkbaar met referentie
 +/- Licht positief/negatief effect
 ++/-- Significant positief/negatief effect
 +++/--- Sterk positief/negatief effect

In de detailanalyse worden niet alle alternatieven uitgewerkt, omdat duidelijk is dat sommige alternatieven minder interessant zijn. Een aantal argumenten waarom alternatieven afvallen, zijn:

- Te duur;
- Niet passend in omgeving;
- Beheer aanzienlijk;
- Ecologisch niet interessant;
- Moeilijk te realiseren.

Kosten en haalbaarheid

Het verlagen van delen van het doorstroomgebied (tot zoetwater intergetijden) is uit het oogpunt van kostenoverwegingen niet interessant. Het omkaden van delen van het doorstroomgebied is wel een reële optie, aangezien er tegenover de kosten ook aanzienlijke baten verwacht mogen worden.

Inpassing in omgeving

De drie varianten op de loop van de kreken hebben alle positieve effecten op de ecologie en beleving van het gebied. De meanderende en vlechtende loop verdienen echter de voorkeur omdat ze beperkte schaduwkosten met zich meedragen. Bij een vertakte loop zal versterkte sedimentatie optreden wat niet gewenst is. Van de vlechtende en meanderende variant verdient uiteindelijk de meanderende de voorkeur, aangezien de vlechtende variant van nature niet voorkomt in een benedenrivierengebied.

Beheer en ecologie

Bij het aanpassen van de vegetatie in een gebied is meer sprake van een beheersmaatregel dan van een inrichtingsmaatregel. De ruwheid van het gebied kan immers door extra onderhoud verkleind worden. Een gebied dat zeer intensief kaal gehouden wordt, is ecologisch niet interessant en valt daarom af. Tevens valt het niet binnen het kader van dit onderzoek, aangezien op het ontwerp van de kreken en niet op het beheer toegespitst wordt. Het verdient echter wel aanbeveling de beheersvragen in andere onderzoeken te onderzoeken.

Variatie in het dwarsprofiel kan interessant zijn voor het beheer van en de hydraulische dynamiek in de kreken. Hetzelfde geldt voor het aantakken van water (meertjes), met name als deze in het noorden van het doorstroomgebied gelokaliseerd zijn.

Haalbaarheid

Aanpassing van de getijdoorwerking is relatief onafhankelijk van de inrichting van het doorstroomgebied. Toename van het getijprisma zorgt voor een grotere sedimenttoevoer en hydraulische dynamiek.

6.4 Detailontwerp kreken

In hoofdstuk 8 en verder wordt ingegaan op de modellering van het referentieontwerp (hfst.8-11) en de mogelijke ontwerpaanpassingen hierop (hfst.12).

6.4.1. Detailanalyse modelaanpassingen

Met behulp van bovenstaande effectenanalyse kan vastgesteld worden wat de relevante inrichtingsmaatregelen zijn, die de morfologie van het doorstroomgebied beïnvloeden. Dit betreft de volgende aanpassingen aan het referentieontwerp:

- Verandering profielbreedte;
- Aantakken van water aan de noordzijde van het doorstroomgebied;
- Verbindingen tussen de kreken en de Nieuwe Merwede (duiker en open verbinding).

Bovenstaande aanpassingen zijn daarom doorgevoerd in de modellering van de kreken in de detailanalyse. In tabel 6.7 worden de aanpassingen in het ontwerp kwantitatief geduid.

Tabel 6.7: Basis alternatieven.

Alternatief	Variatie	Grootte
1	Breedte kreken	- 50%
2	Breedte kreken	+ 100%
3	Bergend oppervlak	50000m ²
4	Open verbinding	≈ 25m ² (NAP +0,5m)
5	Duiker	15m ²
6	Duiker	25m ²

De mate waarin de varianten verschillen van het referentieontwerp dient beperkt te zijn, zodanig dat de varianten praktisch nog toepasbaar zijn. Dit betekent dat alle varianten nog dienen te beantwoorden aan de functionele randvoorwaarden van het doorstroomgebied:

- Hydraulisch: MHW afvoer hoogwater;
- Landbouw: Mogelijk maken van extensieve veeteelt;
- Milieu: Ruimte bieden aan verschillende soorten vegetatie;
- Recreatie: Polder moet toegankelijk en aantrekkelijk zijn voor recreanten.

6.4.2. Beperkingen numerieke modellering

Een niet rechte loop kan bij benadering geschematiseerd worden door de 'lengte-breedte' verhouding van het gebied aan te passen. Dit benadert echter alleen de grotere lengte van de niet rechte loop. Om andere aspecten met betrekking tot een niet rechte loop te schematiseren is tenminste een 2D diepte geïntegreerd of 3D model nodig. De effecten van een niet rechte loop kunnen daarom alleen gedetailleerd bekeken worden als het model dit aankan.

Deel III: Detailstudie

Programma van eisen modellering

Modellering

- Methode
- Modelopzet

Resultaten

- Morfologische resultaten
- Gevoeligheidsanalyse
- Modelaanpassingen
- Hydraulische resultaten

Ontwerpaanbevelingen

- Specifieke ontwerpaanbevelingen
- Algemene ontwerpaanbevelingen

Conclusies & discussie

- Conclusies
- Discussie
- Onderzoeksaanbevelingen

7. Programma van eisen modellering

In de detailstudie wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende modellen (hfst.9). Deze modellen dienen te voldoen aan de eisen die in dit hoofdstuk beschreven zijn (§7.1). Een aantal van de uitgangspunten (§7.2) en doelstellingen (§7.3) worden echter specifiek voor elk model beschreven. Het betreft drie modellen (hfst.9) die gekenmerkt worden door het modelgebied en de randvoorwaarden.

- Model 1: Biesbosch als modelgebied met alleen benedenstroomse randvoorwaarden (Hollands Diep).
- Model 2: Noordelijk Deltabekken (NDB) als modelgebied, met historische meetdata als randvoorwaarden (voor het jaar 1998).
- Model 3: Noordelijk Deltabekken als modelgebied, met probabilistische randvoorwaarden (voor een statistisch jaar én 1998).

7.1 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden omvatten de eisen die gesteld worden aan een morfologisch model, zodat het model een redelijke representatie geeft van de morfologische processen die in de werkelijkheid voorkomen.

- RD1 Het model is numeriek stabiel onder alle voorkomende hydraulische omstandigheden.
- RD2 Er kan onderscheid gemaakt worden tussen het permanent en niet-permanent doorstroomde deel van het doorstroomgebied.
- RD3 De hydraulische weerstand en het doorstroomde oppervlak van dwarsprofielen is diepte afhankelijk.
- RD4 Overlaten en andere constructies, als de Haringvlietsluizen, worden in het model realistisch weergegeven.
- RD5 Het model dient zwevend stof transport en sedimentatie mee te nemen in de berekening (ten minste de 1^e orde effecten).
- RD6 De randvoorwaarden van de modellen dienen zodanig gekozen worden dat ze representatief zijn voor een langere periode.
- RD7 De discretisatie van tijd en ruimte dient zodanig te zijn dat voldoende detail (met name in de ruimte) te zien is over de lengte van het doorstroomgebied.

7.2 Uitgangspunten

De uitgangspunten van de modellering geven aan welke condities relevant of niet relevant zijn verondersteld voor het model. Hierin worden algemene en modelspecifieke uitgangspunten onderscheiden. Deze uitgangspunten dienen achteraf gecontroleerd te worden, in hoofdstuk 9 gebeurt dit voor de modelspecifieke uitgangspunten.

- UD1 Een 1D Schematisatie van het doorstroomgebied, waarin onderscheid gemaakt wordt tussen de 'mainflow area' en de

-
- 'floodplains', biedt resultaten die representatief verondersteld worden voor de werkelijkheid.
- UD2 Zandtransport en sedimentatie heeft slechts een zeer beperkte invloed op de morfologie van het doorstroomgebied.
 - UD3 De lokale geografie (bodemhoogte) over het doorstroomgebied is overal gelijk (NAP +0,8 m).
 - UD4 Alleen de meest westelijke tak van de Noordwaard (tak 3) watert op zowel het Gat van de Kleine Hil als op het Gat van de Noorderklip af. De andere takken van de Noordwaard voeren alleen water af op het Gat van de Noorderklip.
 - UD5 De effecten van een versmalling en verdieping ter hoogte van de Bandijk zijn niet in de modellering meegenomen.
 - UD6 De hydraulische weerstand in de kreken is vastgesteld op een Chézy waarde van $40\text{m}^{1/2}/\text{s}$.
 - UD7 De hydraulische weerstand in het niet permanent doorstroomde deel van de Noordwaard is vastgesteld op een Chézy waarde van $50\text{m}^{1/2}/\text{s}$.

Biesbosch-model

- UBB1 Dagelijkse omstandigheden zijn bepalend voor de morfologie van het gebied. (Scenario 3 en 4 worden dominant verondersteld, waarbij de invloed van de bovenstroomse rand (overlaat) wordt verwaarloosd).
- UBB2 De benedenstroomse randvoorwaarden op het Hollands Diep zullen, door de grote berging, niet significant beïnvloed worden door de maatregel.
- UBB3 Enkel fijn slib sedimenteert in de Noordwaard, de andere componenten zullen reeds in het Hollands Diep of de geulen van de Biesbosch bezinken.

NDB historisch model

- UHI1 Het gekozen jaar is morfologisch representatief voor een langere periode.
- UHI2 De invloed van de aanpassingen binnen de Noordwaard op de randvoorwaarden is zeer beperkt.

NDB probabilistisch model

- UPB1 De tijdsafhankelijke invloeden zijn niet van grote invloed op de morfologie.
- UPB2 De gekozen afvoergolf (voor afvoeren groter dan $6000\text{ m}^3/\text{s}$) is een redelijke benadering van de werkelijkheid.
- UPB3 De invloed van de gekozen verdeling in fracties is niet merkbaar in de morfologie.

7.3 Programma van eisen

Voor de verschillende modellen wordt een doelstelling beoogd die verschillend is. Deze doelstellingen worden hier beschreven.

Biesbosch-model

Het model verschaft meer inzicht over:

PBB1 De morfologie van het doorstroomgebied als gevolg van dagelijkse omstandigheden.

PBB2 De invloed van de benedenstroomse rand op de morfologie.

NDB historisch model

Het model verschaft meer inzicht over:

PHI1 De morfologie van het doorstroomgebied in het jaar 1998.

PHI2 Verdeling van de sedimentatie van de componenten (fijn zand, geflocculeerd slib en fijn slib) over het doorstroomgebied.

PHI3 Invloed van aanpassingen in het ontwerp van krekens op de morfologie van het doorstroomgebied.

PHI4 De hydraulica van het gebied voor het pilot-jaar 1998.

NDB probabilistisch model

Het model verschaft meer inzicht over:

PPB1 De morfologie van het doorstroomgebied in een statistisch (gemiddeld) jaar.

PPB2 De invloed van verschillende afvoerfracties op de morfologie van het doorstroomgebied.

PPB3 Morfologie van het doorstroomgebied bij een niet tijdsafhankelijke aanpak.

8. Opzet modellering

Dit hoofdstuk geeft algemene informatie over de opzet van een numeriek model en de keuzes van de modellering, die hieraan ten grondslag liggen. Ten behoeve hiervan worden de mogelijk optredende omstandigheden in het gebied geduid met behulp van hydraulische scenario's (§8.1), waarvan één scenario in eerste instantie als het dominante wordt gezien (§8.2). Aan de hand hiervan wordt de keuze voor een numeriek pakket toegelicht (§8.3), waarna bestaande modellen bekeken worden.

De mogelijke ruimtelijke begrenzingen van een model en de methoden om randvoorwaarden samen te stellen worden vervolgens (§8.4-8.5) beschreven. Tevens worden de bepalende procesparameters voor het zwevend stof transport en sedimentatie toegelicht (§8.6). In hoofdstuk 9 worden concrete modellen samengesteld die gekenmerkt worden door de modelgrenzen en randvoorwaarden uit paragraaf 8.4 en 8.5. De resultaten van deze modellen worden in hoofdstuk 10 toegelicht.

8.1 Optredende omstandigheden

Om tot een goede aanpak te komen, is het zinvol de relevante hydraulische omstandigheden te onderscheiden. Gekozen is voor een beschrijving van deze omstandigheden middels een viertal scenario's. Deze scenario's worden gekenmerkt door Rijn of Maasafvoeren, alsmede de karakteristieke waterstanden en stroomsnelheden.

8.1.1. Scenario 1: Rijndominantie

Het eerste scenario wordt gekenmerkt door een zeer hoge afvoer van de Rijn. Waterstanden in het doorstroomgebied zijn dan groot en vanuit de Nieuwe Merwede wordt het doorstroomgebied geïnundeerd. De frequentie waarmee dit scenario optreedt is laag. In het kort kunnen de kenmerkende omstandigheden als volgt weergegeven worden:

- Inlaat laat zeer groot debiet Noordwaard in;
- Subkritische stroming over inlaat;
- Hoge waterstand Noordwaard (groter dan NAP +2 m);
- Waterstand Nieuwe Merwede hoog (~NAP +3 m).

Een grote waterdiepte en toevoer van sediment tijdens dit scenario zorgen ervoor dat overwegend sedimentatie verwacht mag worden. In de versmallingen (aan de zuidzijde) kan echter erosie optreden. In bijlage G wordt een overzicht gegeven van de effecten.

8.1.2. Scenario 2: Middelhoge Rijnafvoer

Het tweede scenario omvat frequenter optredende omstandigheden. Het wordt gekenmerkt door een middelhoge afvoer van de Rijn eventueel gecombineerd met hoge zeewaterstanden. Vanuit de Nieuwe Merwede stroomt water het doorstroomgebied binnen. De

waterstanden in het gebied zijn echter vrij beperkt, waardoor grotere stroomsnelheden kunnen optreden. De kenmerken van dit scenario kunnen kort geduid worden:

- Significant debiet over inlaat;
- Kritische stroming over inlaat;
- Waterhoogte beperkt boven het maaiveld (tot NAP +2 m);
- Waterstand Nieuwe Merwede net boven overlaat (~NAP +2,3 m).

Door de grote stroomsnelheden zal enige erosie gedurende deze periode optreden, met name in het zuidelijk deel van het doorstroomgebied.

8.1.3. Scenario 3: Rijn & Maas gematigd debiet

Het scenario waarin zowel Rijn als Maas een beperkte afvoer hebben, komt zeer frequent voor. Er wordt daarom vanuit gegaan dat dit scenario het meest invloedrijke is van alle genoemde scenario's. De waterstanden in het gebied worden voornamelijk door de Rijnafoeren bepaald, aangezien de Rijnafoer bepalend is voor het lozen van water bij de Haringvliet sluizen, en daarmee de waterstanden op het Haringvliet en Hollands Diep beïnvloed. De Maasafvoer kan via het Spijkerboor echter ook invloed hebben op de waterstandvariaties binnen de Biesbosch. Enkele kenmerken van dit scenario zijn:

- Geen of niet significant debiet over inlaat;
- De waterstandvariatie binnen het doorstroomgebied is beperkt (tot NAP + 1,2 m);
- De stroomsnelheden in de kreken kunnen sterk variëren (afhankelijk van de dimensies van de kreken).

Het doorstroomgebied zal onder deze omstandigheden langzaam sedimenteren. De morfologische ontwikkeling van de kreken is niet eenduidig in te schatten. Lokale vormgeving en kleine veranderingen in de overheersende omstandigheden hebben hier veel invloed op.

8.1.4. Scenario 4: Maasdominantie

Het vierde scenario is een hoogwater scenario voor de Maas, waarbij de Rijnafoeren nog vrij beperkt zijn. Verwacht mag worden dat dit slechts in zeer uitzonderlijke gevallen voorkomt, aangezien er een sterke correlatie is tussen de Maas- en de Rijnafoeren.

- Geen of niet significant debiet over inlaat;
- De waterstandvariatie binnen het doorstroomgebied is redelijk groot (tot NAP +1,6m).

Er mag verondersteld worden dat er tijdens dit scenario sedimentatie optreedt in zowel het krekensysteem als in de rest van het doorstroomgebied.

Er wordt globaal nog een onderscheid gemaakt tussen dagelijkse omstandigheden (scenario's 3 en 4) en hoogwaterafvoeren (scenario's 1 en 2), waarbij de Noordwaard meestroomt. Het debiet waarboven de Noordwaard mee gaat stromen is ruwweg vastgesteld op 9000 m³/s voor de Rijn bij Lobith (bijlage E.3).

8.2 Insteek modellering

Niet alle benoemde scenario's zijn even relevant voor de morfologische ontwikkeling van de Noordwaard. Deze relevantie wordt bepaald door twee cruciale aspecten:

- De frequentie waarmee een gebeurtenis voorkomt;
- De relatieve bijdrage van zo'n gebeurtenis aan de morfologische ontwikkeling.

Bovenstaande aspecten blijken in de praktijk complementair te zijn. De volgende situaties zijn dan ook te onderscheiden:

- Niet-maatgevende omstandigheden met een beperkte invloed, maar een hoge frequentie van voorkomen;
- Maatgevende omstandigheden met een grote morfologisch invloed, maar een zeer lage frequentie van voorkomen.

Uitgaande van bestaande kennis en overwegingen wordt verondersteld dat de frequent optredende (dagelijkse) omstandigheden de belangrijkste bijdrage leveren aan de morfologische ontwikkeling in een doorstroomgebied (met name de kreken). Scenario drie is dan het bepalende scenario. In het vervolg van dit onderzoek zal dit uitgangspunt getoetst worden. De kenmerken van de maatgevende en dagelijkse omstandigheden kunnen als volgt gekarakteriseerd worden.

.....
Tabel 8.1: Kenmerken van niet maatgevende hydraulische omstandigheden.

Niet maatgevende omstandigheden	
1	Rijninvoed op waterstanden
2	Beperkte invloed Maas
3	Kreken als cruciaal hydraulisch element
4	Morfologie voor bepaald door slib (fijne slib fracties)

.....
Tabel 8.2: Kenmerken van maatgevende hydraulische omstandigheden.

Maatgevende omstandigheden	
1	Rijndominantie van het gebied
2	Doorstroomgebied regelmatig geïnundeerd
3	Morfologie grotendeels bepaald door slib (grovere fracties)

8.3 Morfologische modellen

8.3.1. Morfologisch pakket

Een inschatting van morfologische effecten kan met behulp van verschillende morfologische pakketten gemaakt worden. De keuze is afhankelijk van de toepassing. Met name de, reeds genoemde, hydraulische gebeurtenissen zijn belangrijk voor de keuze. Ook het feit dat het toegevoerde sediment in het doorstroomgebied hoofdzakelijk uit slib zal bestaan speelt een rol.

Een pakket met ondersteuning voor een waterkwaliteitsmodule (als DELWAQ) is dan ook essentieel. Enkele interessante pakketten zijn SOBEK-slib (met waterkwaliteitsmodule), SOBEK-overland en WAQUA-DELWAQ. Het is tevens mogelijk om met een spreadsheet programma eenvoudige benaderingen te doen voor het sedimenttransport en de afzetting van sediment.

Tabel 8.3: Mogelijke morfologische pakketten.

Morfologisch pakket	Dimensies	Modules
ZWENDL-DELWAQ	1D	DELWAQ slibmodule (slib)
SOBEK-mor	1D	Morfologische module (zand)
SOBEK-slib	1D	DELWAQ slibmodule (slib)
SOBEK-overland	1D / 2D	Hydraulisch
WAQUA-DELWAQ	2D	DELWAQ slibmodule (slib)

Indien de aanslibbing van een groot gebied onderzocht wordt, dan kan gebruik gemaakt worden van WAQUA in combinatie met de DELWAQ slibmodule. Voor de morfologie van de kreken is een 2D model echter minder geschikt. Het grid van het 2D model zou dan zeer fijn moeten zijn, waardoor rekentijden sterk toenemen. De combinatie WAQUA-DELWAQ is dan ook vooral interessant in het eerste of tweede scenario (wanneer het gehele doorstroomgebied geïnundeerd is). Een ander nadeel van WAQUA-DELWAQ is dat er numerieke problemen ontstaan zodra gridpunten droogvallen of opnieuw inunderen.

Eén dimensionale pakketten kennen als nadeel dat ze twee dimensionale effecten, over de breedte van de doorsnede minder goed beschrijven. Hier staat tegenover dat de aanslibbing in kleine elementen, zoals kreken, bepaald kan worden én dat het droogvallen van een gebied gesimuleerd kan worden (SOBEK). Het pakket ZWENDL-DELWAQ is sterk verouderd en is niet eenvoudig te gebruiken. Het wordt volledigheidshalve genoemd, omdat tot voor kort veel slib berekeningen met dit pakket uitgevoerd werden.

Voor de verschillende scenario's is uitgezet welke pakketten (en modules) gebruikt kunnen worden onder welke omstandigheden.

Tabel 8.4: Afweging morfologische pakketten.

Hydraulische situatie	Debiet Overlaat	Hydraulica doorstroomgebied	Morfologisch pakket
Hoge afvoeren	Zeer groot	Geheel geïnundeerd	WAQUA-DELWAQ
Middelhoge afvoeren	Significant debiet	Geheel geïnundeerd	WAQUA-DELWAQ
Gemiddeld tot Lage afvoeren	Geen debiet	Transport vrnl. via kreken	SOBEK-slib
Lage afvoeren	Geen debiet	Alleen kreken stroomvoerend	SOBEK-overland

Gekozen is voor SOBEK met DELWAQ slib-module. Met behulp van dit pakket kunnen de kreken binnen het gebied gemodelleerd worden. Tevens is het mogelijk droogvallende delen (die binnen de Biesbosch veel aanwezig zijn) mee te nemen. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar de handleidingen van SOBEK en DELWAQ (WL|Delft Hydraulics, 2001 & 2004).

8.3.2. Bestaande modellen

Het is interessant om te zien welke modellen reeds beschikbaar zijn voor het interessegebied. Voor het noordelijk deltabekken zijn voor SOBEK en WAQUA reeds modellen beschikbaar (Van der Linden & Van Zetten, 2001, en Van Zetten, 2001). Voor SOBEK is ook een

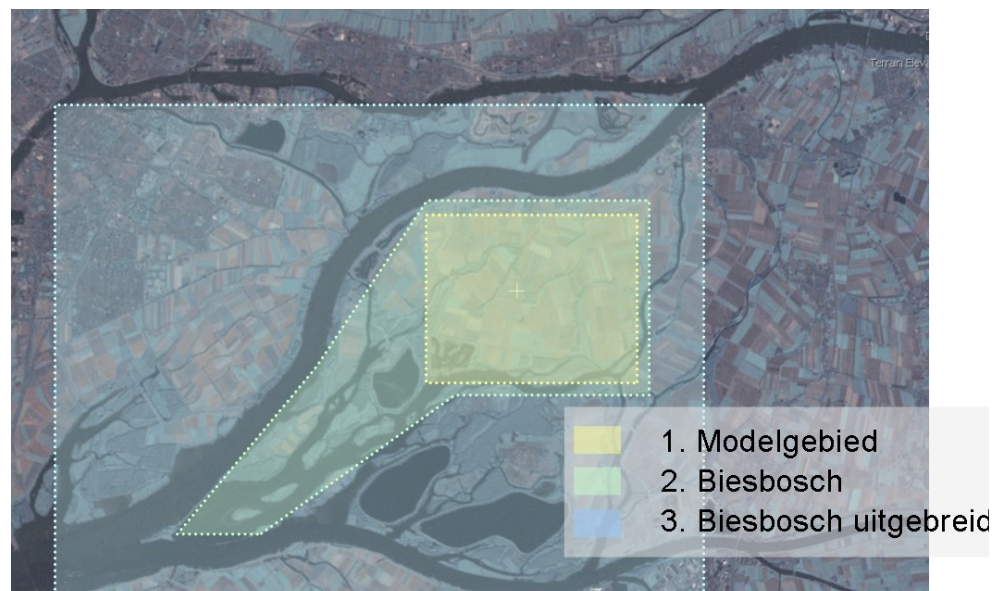
slibmodel beschikbaar, welke echter niet geverifieerd is (Visser & Snippen, 2002). Uit modelruns blijkt dat dit model het zwevend stof transport op de rivieren toch vrij nauwkeurig benadert. Voor de Biesbosch dienen echter specifieke aanpassingen gemaakt te worden, daarbij is het rekengrid verfijnd en het model gedetailleerd. Tevens wordt in een gevoeligheidsanalyse voorzien, welke inzicht kan geven in de betrouwbaarheid van de resultaten.

8.4 Modelafbakening

Het model dient afgebakend te worden, daarbij kan gekozen worden voor de volgende modelafbakening:

- Noordelijk Deltabekken (NDB);
- Biesbosch groot (Hollands Diep, Amer en Nieuwe Merwede);
- Biesbosch (Hollands Diep);
- Modelgebied (doorstroomgebied Noordwaard).

.....
Figuur 8.1: Begrenzing modellering (drie beperkte afbakening weergegeven).



Over het algemeen dienen de randen van het modelgebied ver weg te liggen van het interesse gebied. Andere overwegingen, zoals rekentijd en beschikbaarheid van meetgegevens, zijn echter ook belangrijk bij de keuze van de modelgrenzen. Tevens hangt de keuze voor bepaalde modelgrenzen samen met de doelstellingen van het model. Deze kunnen veranderen als de inzichten in de morfologie van kreken wijzigen. In hoofdstuk 9 worden drie modellen met verschillende modelafbakening gebruikt.

8.5 Randvoorwaarden

Om inzicht te krijgen in de morfologische ontwikkeling van een gebied dienen de representatief veronderstelde omstandigheden zorgvuldig gekozen te worden. Door Visser en Snippen (2002) wordt geconstateerd dat de afvoeren, waterstanden en zwevend stof concentraties een grote invloed hebben op de morfologie.

Verskillende benaderingen kunnen toegepast worden bij het bepalen van de morfologische effecten van maatregelen.

- Benadering met representatieve randvoorwaarden;
- Historische benadering (meetdata);
- Monte Carlo simulaties;
- Probabilistische (fractionele) benadering.

Representatieve randvoorwaarden

De eerste benadering gaat uit van vaste randvoorwaarden die representatief verondersteld worden voor de aspecten die de morfologische ontwikkeling van het gebied bepalen. Het voordeel is dat dit een eenvoudige benadering is. Daartegenover staat echter dat geen inzicht verkregen wordt in de variatie van de morfologie onder variërende omstandigheden.

Historische benadering

Er kan ook uitgegaan worden van in het verleden opgetreden hydraulische omstandigheden. Daarbij wordt verondersteld dat de opgetreden waterstanden en afvoeren ook voor de toekomst relevant zijn. Een voordeel hiervan is dat er geen stationaire afvoer wordt ingesteld, maar dat tijdsafhankelijke effecten ook een rol spelen. Het is belangrijk om een periode te kiezen die representatief verondersteld kan worden voor de langdurige ontwikkeling.

Monte Carlo simulaties

Bij een Monte Carlo simulatie wordt een groot aantal berekeningen uitgevoerd. Voor elke berekening wordt uit een verzameling mogelijke randvoorwaarden een representatieve randvoorwaarde getrokken. Door de morfologische gevolgen van al deze berekeningen te middelen kan een goed beeld verkregen worden van het verwachte morfologische effect, alsmede van de onzekerheidsintervallen. Er moeten echter zeer veel berekeningen gedaan worden, waardoor deze methode zeer tijdsintensief is.

Probabilistische benadering

Bij de probabilistische benadering worden verschillende randvoorwaarden gekozen. Elk van de randvoorwaarden wordt representatief verondersteld voor een bepaalde duur van de optredende hydraulische condities in het gebied. Door de gevolgen van deze fracties te combineren kunnen de gevolgen voor een representatief (statistisch) jaar ingeschat worden. In bijlage F.2 wordt het opdelen van de Rijnafvoer in debietfracties nader toegelicht.

De keuze voor één van deze methoden hangt af van de doelstellingen van de simulatie. Tevens spelen aspecten als rekentijd en hanteerbaarheid een rol. In hoofdstuk 9 wordt daarom voor elk van de modellen aangegeven welke doelstellingen gerealiseerd dienen te worden. Vanuit praktische overwegingen wordt de Monte Carlo simulatie echter niet toegepast.

8.6 Zwevend stof parameters

Het transport en de sedimentatie/erosie van zwevend stof zijn afhankelijk van de fysische eigenschappen van het zwevend stof. Deze eigenschappen dienen vertaald te worden naar parameters waarmee DELWAQ het zwevend stof gedrag kan simuleren. Een aantal aspecten die hiertoe dienen worden toegelicht.

- Samenstelling sediment
- Procesparameters

Binnen DELWAQ worden de fysische processen, betreffende sedimentatie en erosie, benaderd met de vergelijkingen van Krone (1962) en Partheniades (1965). Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar hoofdstuk 4 in het literatuurrapport.

8.6.1. Samenstelling Sediment

Zwevend sediment kent een wijde gradering van korreldiameters. Verschillende (korrel)fracties kunnen zich echter zeer verschillend gedragen (o.a. door verschillen in valsnelheden). Binnen DELWAQ (WL|Delft Hydraulics, 2000) wordt daarom onderscheid gemaakt tussen drie zwevend stof componenten.

.....
Tabel 8.5: Componenten zwevend stof.

Model	Type
Fijn slib	IM1
Geflocculeerd slib	IM2
Fijn zand	IM3

De gemeten zwevend stof concentratie wordt opgedeeld in drie componenten, waarbij een 1/3 verdeling voor elk van de componenten gehanteerd wordt (Van Wijngaarden & Ludikhuizen, 1998, Sloot & Van den Berg, 2000 en Visser & Snippen, 2002). Voor de afvoer van een grote rivier is dit een redelijke aanname. Binnen de Biesbosch mag echter niet uitgegaan worden van een 1/3 verhouding. De stroomsnelheden zijn immers te beperkt voor de grove fracties. Binnen de Biesbosch wordt daarom alle gemeten zwevend stof als fijn slib gecategoriseerd.

8.6.2. Procesparameters

Om het sedimentatie en erosie gedrag van het zwevend stof te kunnen beschrijven gebruikt DELWAQ de vergelijkingen van Krone (1962) & Partheniades (1965). Voor elke fractie zijn de procesparameters uitgezet in tabel 8.6. Deze zijn ontleend aan vergelijkbare onderzoeken van Van Wijngaarden & Ludikhuizen (1998), Van Wijngaarden (1998), Sloot & Van den Berg (2000) en Visser & Snippen, 2002).

.....
Tabel 8.6: Procesparameters slibtransport binnen SOBEK.

Procesconstanten	waarde	naam	waarde
Sedimentatiesnelheid ($w_{s,i}$)			
• Niet geflocculeerd slib	0,25	m/d	VsedIM1
• Geflocculeerd slib	10	m/d	VsedIM2
• Fijn zand	25	m/d	VsedIM3

Kritische snelheid voor sedimentatie ($V_{s,cr(i)}$)					
• Niet geflocculeerd slib	0,25	m/s	TaucSIM1	0,55	N/m ²
• Geflocculeerd slib	0,50	m/s	TaucSIM2	2,11	N/m ²
• Fijn zand	0,75	m/s	TaucSIM3	4,97	N/m ²

Erosie parameters					
Erosiesnelheidsconstante (M_e)	0,50	kg/m ² d	ZresDM		
Kritische snelheid voor erosie ($V_{e,cr}$)	0,50	m/s	TaucRS1DM	2,11	N/m ²
Soortelijke massa (droge stof) in kreek (50 % droge stof; 50% water)				800	kg/m ³
Soortelijke massa (droge stof) in uiterwaard (90 % droog; 10% water)				1450	kg/m ³

Voor het droge stof gewicht, van slib afzettingen in rivieren, wordt over het algemeen 500kg/m³ aangenomen (Van Wijngaarden, 1998). In dit onderzoek wordt hier echter van afgeweken, aangezien de omstandigheden in het doorstroomgebied sterk verschillen van een rivierbodem. Verondersteld wordt dat het slib in de kreek meer inklinkt dan in de rivier, daarom is voor de kreek een soortelijk gewicht (van het droge stof) van het slib van 800kg/m³ aangenomen (dit komt overeen met een bulkgewicht van circa 1300kg/m³, als de poriën met water gevuld zijn). In de uiterwaarden wordt een soortelijk gewicht (voor het droge stof) van het slib van 1450kg/m³ aangenomen (inclusief water: circa 1600kg/m³), aangezien het sediment in de uiterwaarden meer verdroogt dan in de kreek. Tevens blijkt in de uiterwaarden ook grover materiaal te sedimenteren, wat een hogere dichtheid heeft dan het fijne slib.

Uit de bevindingen van Visser en Snippen (2002) blijkt dat de keuze van de zwevend stof parameters invloed heeft op de morfologie, daarom is in hoofdstuk 11 ingegaan op de gevoeligheid van de uitkomsten voor variaties in de zwevend stof procesparameters.

8.7 Doelstelling uitvoer informatie

De doelstellingen van dit rapport hebben betrekking op de morfologie van de kreek en ontwerpaanpassingen hierin. Gegevens die relevant zijn voor de doelstellingen, zijn:

- Morfologie kreek binnen doorstroomgebied;
 - a. Sedimentatie (jaarbasis);
 - b. Verdeling sedimentatie (per locatie).
- Gevoeligheid van de morfologie voor verstoringen in parameters (onzekerheden in jaarlijkse sedimentatie);
- Invloed van ontwerpaanpassingen op de morfologie;

In hoofdstuk 9 worden een aantal modellen opgezet, waarmee de sedimentatie in het gebied voor enkele (of alle) scenario's bepaald kan worden. Om te kunnen controleren of het model gebruikt kan worden voor een bepaalde toepassing, worden de uitgangspunten en doelstellingen van de modellen ook gepresenteerd. Tevens wordt in hoofdstuk 9 ingegaan op de modellering van het doorstroomgebied en de randvoorwaarden van de verschillende modellen. In hoofdstuk 10 worden de morfologische resultaten hiervan gepresenteerd, waarna in hoofdstuk 11 de gevoeligheid van deze resultaten wordt gecontroleerd.

9. Modelling

In dit hoofdstuk worden de gebruikte (SOBEK) modellen besproken. Allereerst wordt de modellering van het doorstroomgebied toegelicht (§9.1), deze is gelijk voor alle modellen. Daarna worden de drie gebruikte modellen, met specifieke randvoorwaarden en modelgrenzen, uiteengezet (§9.2 t/m §9.4). Voor elk van deze modellen worden tevens de doelstellingen en uitgangspunten beschreven, alsmede de overwegingen om tot een ander model te komen. Deze modellen zijn:

- Model 1: Biesbosch met historische randvoorwaarden;
- Model 2: NDB met historische randvoorwaarden;
- Model 3: NDB met probabilistische randvoorwaarden.

9.1 Modellering doorstroomgebied

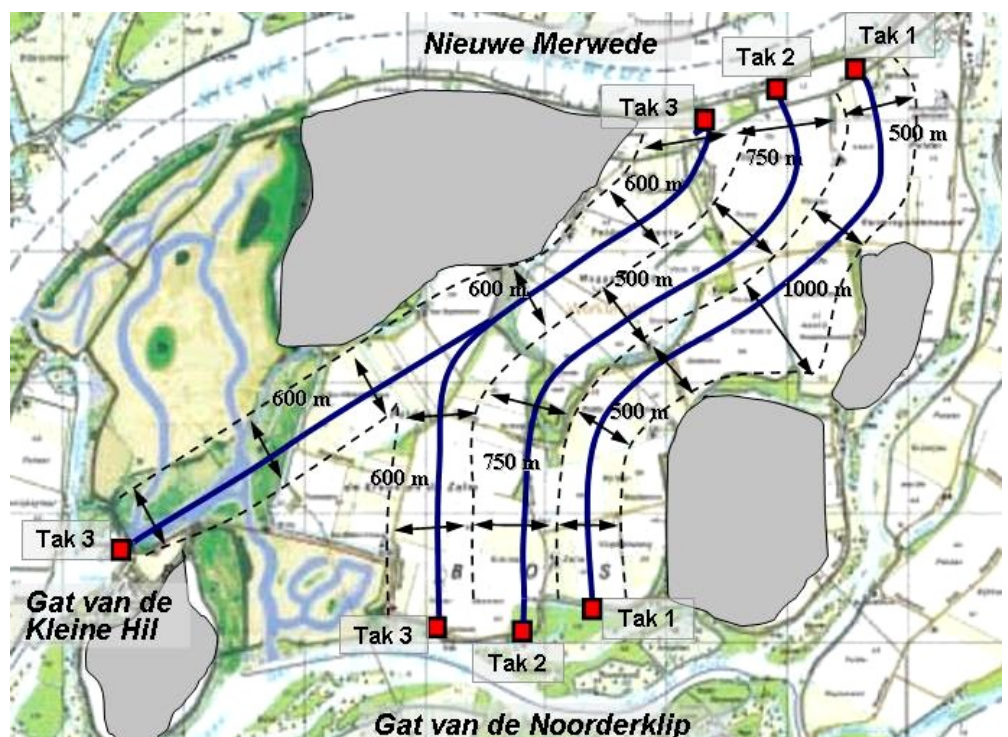
De essentiële aspecten van de modellering van het doorstroomgebied worden in deze paragraaf beschreven. Het betreft:

- Lengteprofiel;
- Dwarsprofiel;
- Kunstwerken;
- Ruwheden;
- Tijd en ruimtelijke discretisatie.

9.1.1. Lengte profiel

Het doorstroomgebied van de Noordwaard wordt geschematiseerd tot drie afzonderlijke takken, waarbij rekening is gehouden met lokaal in het landschap aanwezige elementen, als dijken en polders (figuur 9.1).

Figuur 9.1: Schematisatie van het doorstroomgebied van de Noordwaard tot drie takken.

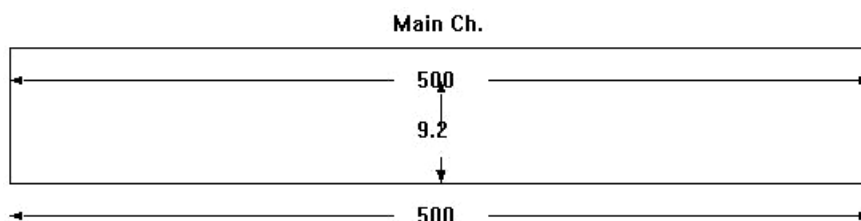


Deze schematisering is tevens gebruikt in maatgevend hoogwater (MHW) berekeningen. De lengte van de takken is bepaald aan de hand van geografische gegevens, voor de eerste tot derde tak (van oost naar west) respectievelijk 5500m, 6500m en 6000m. De derde tak splitst zich halverwege (3000 m) in twee takken, welke afwateren op het 'Gat van de Kleine Hil' en het 'Gat van de Noorderklip'. De overlaat-constructie bevindt zich bij elk van de takken aan de noordzijde op 100m van de aansluiting met de Nieuwe Merwede.

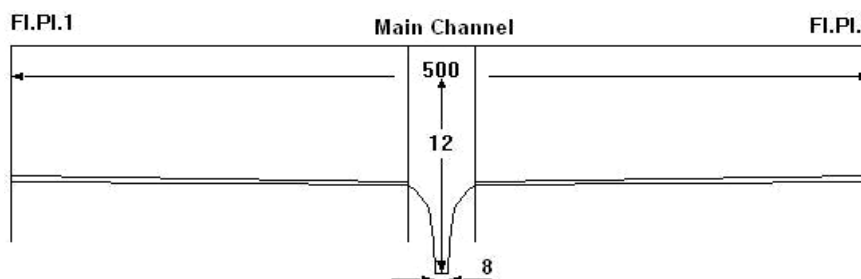
9.1.2. Dwarsprofielen

In de MHW-schematisatie wordt uitgegaan van rechthoekige dwarsprofielen. Voor de invloed van dagelijkse omstandigheden zijn deze profielen echter niet toereikend, aangezien krekten onder normale omstandigheden essentieel zijn voor de hydraulica en morfologie van een gebied. In het midden van de nieuwe dwarsprofielen zijn daarom krekten toegevoegd. Het doorstroomde oppervlak van dit dwarsprofiel is 40m² (onder maaiveld). De bodem van de kreek ligt op NAP -2m, het talud verloopt van beneden naar boven van steil naar flauw.

Figuur 9.2: Oude profiel Schematisatie, voor MHW-berekeningen.



Figuur 9.3: Nieuwe profiel Schematisatie, inclusief kreek.



De profielbreedtes variëren over de lengte van de takken tussen de vijfhonderd en duizend meter. Deze profielbreedtes zijn vastgesteld aan de hand van de lokale geografie, daarbij is met name rekening gehouden met deelpolders, oude dijken en krekten.

Tabel 9.1: Lokale breedte gehele dwarsprofiel over lengte van de tak.

Lengte tak	Breedte tak 1	Breedte tak 2	Breedte tak 3a/b
[m]	[m]	[m]	[m]
0	500	750	600
375	500	750	600
1000	708	750	600
1875	1000	640	600
3000	678	500	600
3625	500	570	600
5250	500	750	600
5500	500	750	600
6000		750	600
6500		750	

9.1.3. Kunstwerken

Aan de noordzijde van het doorstroomgebied is een overlaat van 1750m breed geschematiseerd. Deze is verdeeld over de takken 1 t/m 3, waarvoor een overlaat van respectievelijk 250m, 750m en 750m geschematiseerd is. De kruinhoogte van de overlaat is NAP +2m.

9.1.4. Ruwheid

Voor de ruwheid van de kreek is uitgegaan van een Chézy waarde van $40m^{1/2}/s$. Voor de floodplains wordt een Chézy waarde van gemiddeld $50m^{1/2}/s$ gebruikt.

9.1.5. Discretisatie

De geulen van de Biesbosch worden door middel van een hydraulisch rekengrid, met een tussenafstand van 500m, gediscretiseerd. In de takken van de Noordwaard is het rekengrid verdicht, tot 250m. In DELWAQ wordt eenzelfde ruimtelijke discretisatie aangebracht. Enige uitzondering hierop vormen de eerste twee segmenten van alle Noordwaard-takken. Deze worden opgedeeld door de overlaat, ze zijn respectievelijk 100m en 150m lang. Tevens is de optie parallel segment aangezet, waardoor verschil gemaakt kan worden tussen de sedimentatie in de kreek (Main flow area) en in het niet permanent stroomvoerende deel. Dit gedeelte wordt gemakshalve in de rest van het rapport aangeduid als uiterwaard (floodplain).

9.1.6. Andere aspecten

Een ander aspect van de modellering dat bijzondere aandacht verdient, is de keuze van randvoorwaarden. Voor elk model worden deze afzonderlijk beschreven.

9.2 Model 1: Biesbosch historisch

9.2.1. Modelopzet

In eerste instantie is gekozen voor een klein model, waardoor de reketijden beperkt kunnen worden. Het model bestaat uit de geulen van de Biesbosch en het doorstroomgebied. Aan één zijde worden randvoorwaarden opgelegd, en wel bij de aansluiting op het Hollands diep. In figuur 9.4 zijn de geulen van de Biesbosch en het doorstroomgebied weergegeven.

.....
Figuur 9.4: Biesbosch Schematisatie.



9.2.2. Doelstelling model

Het model verschaft meer inzicht over:

- De morfologie van het doorstroomgebied als gevolg van dagelijkse omstandigheden;
- De invloed van de benedenstroomse rand op de morfologie.

9.2.3. Uitgangspunten model

Bij dit model worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Dagelijkse omstandigheden zijn bepalend voor de morfologie van het gebied. (Scenario 3 en 4 (§8.1) worden dominant verondersteld & De invloed van de overlaat wordt verwaarloosd);
- De benedenstroomse randvoorwaarden op het Hollands Diep zullen, door de grote berging, niet significant beïnvloed worden door de maatregel;
- Enkel fijn slib sedimenteert in de Noordwaard, de andere componenten zullen reeds in het Hollands Diep of de geulen van de Biesbosch bezinken.

9.2.4. Randvoorwaarden

Als randvoorwaarden worden bij het 'Gat van de Visschen' opgelegd:

- Waterstanden;
- Zwevend stof concentraties.

Doordat slechts beperkt informatie beschikbaar is over zwevend stof concentraties is gekozen om metingen van de waterstanden en zwevend stof concentraties uit de jaren 1986-1987 als uitgangspunt te gebruiken.

9.2.5. Bevindingen

Uit de berekeningen blijkt dat de sedimentatie binnen de Noordwaard veel kleiner is dan verwacht. Een jaarlijkse sedimentatie van minder dan een kwart millimeter. Het lijkt dan ook niet redelijk te veronderstellen dat de invloed vanuit de overlaat verwaarloosbaar klein is, daarom is gekozen voor een model waarin de invloed van bovenstroomse randen wordt meegenomen.

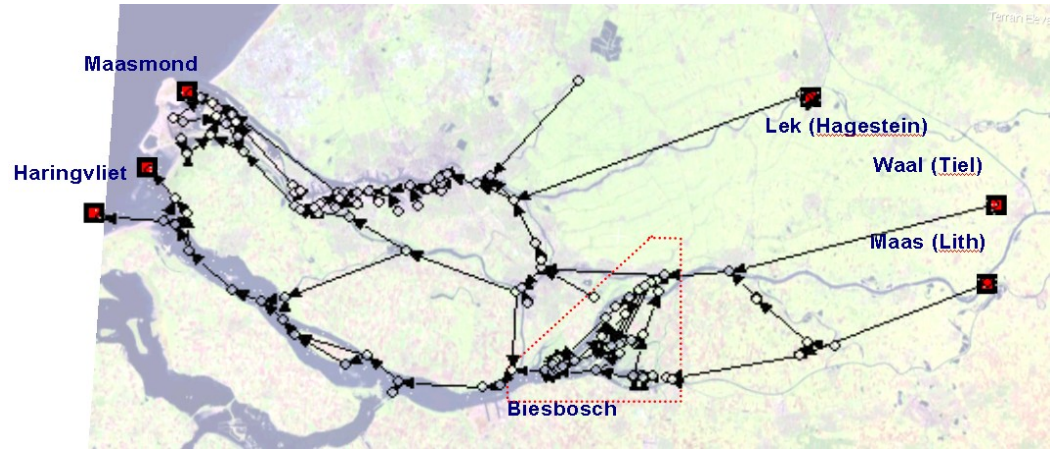
De uitkomsten van dit model zijn voor de sedimentatie van de fijn slib fractie echter wel relevant. Deze fractie wordt blijkbaar voornamelijk door dagelijkse omstandigheden beïnvloed.

9.3 Model 2: NDB historisch

9.3.1. Modelopzet

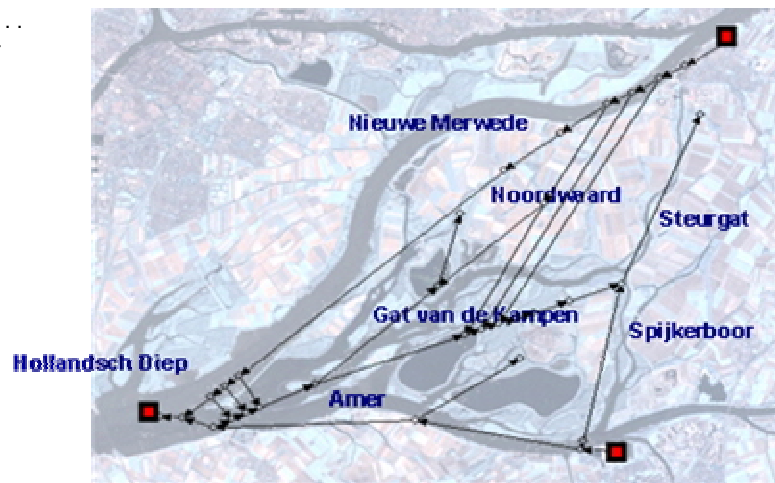
Om de morfologische invloed van de bovenstroomse rand van het doorstroomgebied (bij de overlaat) te kunnen inschatten is het bestaande model voor het noordelijk deltabekken aangepast (figuur 9.5). De in paragraaf 8.1 genoemde scenario's 1 en 2 worden dan ook meegenomen in de berekening.

Figuur 9.5: NDB Schematisatie.



De basis berekening is uitgevoerd met het NDB-model. Om rekentijd te besparen zijn de overige analyses met behulp van een kleinere deel schematisatie (figuur 9.6) van de Biesbosch gemaakt. De hydraulische en zwevend stof randvoorwaarden (bij Werkendam, Keizersveer en Moerdijk) zijn afkomstig uit de basis simulatie.

Figuur 9.6: Deelschematisatie NDB-biesbosch.



9.3.2. Doelstelling model

Het NDB historisch model is opgezet om meer inzicht te krijgen in de volgende zaken.

- De morfologie van het doorstroomgebied voor het pilot-jaar 1998;
- Verdeling van de sedimentatie van de componenten (fijn slib, grof slib en fijn zand) over het doorstroomgebied;
- Invloed van aanpassingen in het ontwerp van kreken op de morfologie van het doorstroomgebied;
- De hydraulica van het gebied voor het pilot-jaar 1998.

9.3.3. Uitgangspunten model

Bij deze modellering worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Het gekozen jaar is morfologisch representatief voor een langere periode;
- De invloed van de aanpassingen binnen de Noordwaard op de randvoorwaarden is zeer beperkt.

9.3.4. Randvoorwaarden

Het NDB-model heeft drie randen aan de bovenstroomse zijde en twee randen aan de benedenstroomse zijde, deze randen worden in figuur 9.5 weergegeven. De bovenstroomse rand bij de Waal is de meest invloedrijke op de waterstanden en zwevend stof concentraties in de Biesbosch, aangezien het lozingsprogramma van het Haringvliet voornamelijk door de Rijnafvoeren beïnvloed wordt, daarom wordt de Rijn als maatgevend gezien bij de keuze van een representatief jaar.

Uit de periode 1990-2000 is 1998 naar voren gekomen als het jaar dat het beste de langjarige afvoerverdeling benadert (1971-2000). Tevens is gekeken naar de afvoeren bij Lith die iets minder goed aansluiten bij de verdeling, maar toch redelijk representatief zijn voor de lange termijn. In bijlage F.1 wordt meer gedetailleerd ingegaan op de beoordeling en keuze van de representatieve jaren.

9.3.5. Bevindingen

De modeluitkomsten geven aan dat de invloed van de instroom over de overlaat op de morfologie erg groot is. Een groot deel van het zwevend stof sedimenteert direct achter de overlaat. Om zeker te kunnen zijn of het jaar 1998 ook representatief is voor een langere periode, worden ook probabilistische randvoorwaarden samengesteld (paragraaf 9.4) voor een gemiddeld (statistisch) jaar.

9.4 Model 3: NDB probabilistisch

9.4.1. Modelopzet

Dit model maakt, net als het NDB historisch model, gebruik van het Noordelijk deltabekken als modelafbakening. Het verschil met het vorige model ligt in de samenstelling van de randvoorwaarden. In dit geval worden de randvoorwaarden probabilistisch vastgesteld, door de afvoer in fracties te verdelen.

9.4.2. Doelstelling model

Dit model verschaft inzicht in:

- De morfologie van het doorstroomgebied in een statistisch (gemiddeld) jaar;
- De invloed van verschillende afvoerfracties op de morfologie van het doorstroomgebied;
- Morfologie van het doorstroomgebied bij een niet tijdsafhankelijke aanpak.

9.4.3. Uitgangspunten model

Bij dit type modellering worden een aantal uitgangspunten gehanteerd:

- De tijdsafhankelijke invloeden zijn niet van grote invloed op de morfologie;
- Het morfologisch effect van een wisselende zeespiegel kan worden benaderd met een goed gekozen gemiddelde getij cyclus;
- De gekozen afvoergolf (voor afvoeren groter dan $6000 \text{ m}^3/\text{s}$) is een redelijke benadering van de werkelijkheid;

- De invloed van de gekozen verdeling in fracties is niet merkbaar in de morfologie.

9.4.4. Hydraulische randvoorwaarden

Bij de probabilistische aanpak wordt de Rijnafvoer bij Lobith in fracties verdeeld. Elk van deze fracties heeft een kenmerkende duur, afvoer en zwevend stof concentratie. Met behulp van afvoerrelaties (Fioole, 1999) is voor elke fractie de karakteristieke afvoer op de Lek en Waal rand bepaald (bijlage E.2). De representatieve afvoer van de Maas is vastgesteld middels een 1 op 1 relatie van de Maasafvoer met de Rijnafvoer, deze 1 op 1 relatie is weer afgeleid van de 50% relaties tussen de afvoeren van beide rivieren.

In tabel 9.2 is de opdeling van de Rijnafvoer in fracties weergegeven, alsmede de bijbehorende bovenstroomse randvoorwaarden voor het NDB. Gekozen is voor een opdeling in debietfracties, omdat de hogere afvoeren interessanter zijn dan de lager afvoeren. Dit geldt met name voor afvoeren van rond de 9000 m³/s bij Lobith, aangezien hier het overgangsgebied van de overlaat ligt (bijlage E.3).

Tabel 9.2: Randvoorwaarden bij debietfracties.

Fracties debiet						
Fractie	Debiet range	Dagen /frac	Qlobith	Q Lith	Q Waal	Q Lek
A	500 - 2000	194.64	1207	105	945	25
B	2000 - 4000	141.66	2670	465	1862	463
C	4000 - 6000	23.323	4729	972	3153	911
D	6000 - 8000	4.1824	6759	1471	4425	1353
E	8000 - 9000	0.6693	8439	1885	5478	1719
F	9000 - 10000	0.2985	9433	2129	6101	1936
G	10000 - 11000	0.1362	10438	2377	6731	2155
H	11000 - 12000	0.0576	11427	2620	7351	2370
I	12000 - 14000	0.0330	12714	2937	8158	2650
J	14000 - 16000	0.0055	14729	3433	9421	3089
K	16000 - 18000	0.0010	16727	3925	10673	3524

Q _{Lobith}	= Gewogen gemiddelde afvoer Lobith binnen fractie	[m ³ /s]
Q _{Lith}	= Uit 1 op 1 relatie bepaalde afvoer Maas bij Lith	[m ³ /s]
Q _{Waal}	= Uit afvoerrelaties afgeleide afvoer Waal bij Tiel	[m ³ /s]
Q _{Lek}	= Uit afvoerrelaties afgeleide afvoer Lek bij Hagestein	[m ³ /s]

De duur van de fracties is bepaald met behulp van overschrijdingsduur tabellen van de afvoer bij Lobith (bijlage E.1). Voor de fracties met relatief grote afvoeren kan echter niet volstaan worden met een quasi-statische afvoer. De overschrijdingskansen van deze afvoeren zijn immers geen duren maar gebeurtenissen. Voor afvoeren groter dan 6000 m³/s wordt daarom een afvoergolf met een standaard vorm gebruikt (Van de Langemheen & Berger, 2001), wat ook bij MHW-berekeningen gebruikelijk is. Voor de samenstelling van deze randvoorwaarden wordt verwezen naar bijlage F.2.

Voor de zeewaterstanden wordt een (gemiddelde) representatieve getij cyclus aangehouden, zoals deze gebruikt wordt (of gaat worden) in het randvoorwaardenboek 2005. Deze cyclus is gelijk aan de huidige representatieve getij cyclus met twee centimeter zeespiegelstijging.

Tabel 9.3: Gemiddelde getij cyclus

Locatie	Laagwater	Hoogwater
Maasmond	NAP -0,65 m	NAP +1,13 m
Haringvliet buiten	NAP -0,88 m	NAP +1,51 m

9.4.5. Morfologische randvoorwaarden

Door Fioole (2002) is voor de Rijn en de Maas een relatie opgesteld tussen de zwevend sedimentvrachten en de afvoer.

Tabel 9.4: Benadering zwevend stof vrachten bij Lobith en Lith, door Fioole et al. (2002).

Locatie	Geldigheid	Benadering [ton/dag]
Lobith	< 2750 m3/s	$Vracht_{lobith} = 858 + 0,1411 * Q_{lith}^{1,342}$
	>2750 m3/s	$Vracht_{lobith} = 6676 + 0,388 * (Q_{lobith}-2750)^{1,43}$
Lith	<250 m3/s	$Vracht_{lith} = 1,218 * Q_{lith}^{0,98}$
	>250m3/s	$Vracht_{lith} = 273 + 0,81 * (Q_{lith}-250)^{1,32}$

$Vracht_{locatie}$	= Vrucht bij desbetreffende locatie	[ton/dag]
$Q_{locatie}$	= Afvoer op desbetreffende locatie	[m ³ /s]

Deze vrachten zijn om te rekenen tot zwevend stof concentraties door het quotiënt van de afvoer te nemen. Door de onderschrijdings-frequenties van de gemeten zwevend stof vrachten bij Lobith en een ander meetstation tegen elkaar uit te zetten is tevens een relatie verkregen voor de zwevend stof vrachten en concentraties bij andere stations (Dus: hoogste 10% Lobith tegen hoogste 10% Ochten etc).

Tabel 9.5: Benadering zwevend stof randvoorwaarden Hagestein en Ochten, Snippen et al. (2005)

Locatie	Benadering
Ochten (waal)	$ZS_{Ochten} = -115.6 + 27.153 * ZS_{lobith}^{0.47}$
Hagestein (lek)	$ZS_{Hagestein} = -5.14 + 0.0000702 * Q_{lobith}^{1.645}$

$ZS_{locatie}$	= Zwevend stofgehalte bij desbetreffende locatie	[mg/l]
----------------	--	--------

In paragraaf 4.3 van het literatuurrapport wordt uitgebreid op deze formuleringen ingegaan. De bij de debietfracties behorende zwevend stof concentraties worden in tabel 9.6 weergegeven.

Tabel 9.6: Benadering fractie karakteristieke zwevend stof randvoorwaarden voor Lith, Hagestein en Ochten, Snippen et al. (2005)

Fracties debiet						
Fractie	Debiet range	Dagen /frac	Qlobith	ZS Hagest	ZS Lith	ZS Ochter
A	500 - 2000	194,64	1207	26,7	12,8	11,6
B	2000 - 4000	141,66	2670	28,0	12,5	14,3
C	4000 - 6000	23,323	4729	31,6	12,3	22,0
D	6000 - 8000	4,1824	6000	33,6	72,0	26,1
E	8000 - 9000	0,6693	8439	37,1	88,4	32,8
F	9000 - 10000	0,2985	9433	148,5	93,8	169,2
G	10000 - 11000	0,1362	10438	162,4	98,7	181,4
H	11000 - 12000	0,0576	11427	175,1	103,1	192,1
I	12000 - 14000	0,0330	12714	190,4	108,4	204,5
J	14000 - 16000	0,0055	14729	212,3	115,7	221,3
K	16000 - 18000	0,0010	16727	232,0	122,2	235,6

9.4.6. Bevindingen

Uit de berekeningen komt naar voren dat de sedimentatie bij de probabilistische aanpak voor een statistisch jaar aanzienlijk kleiner is dan voor de historische aanpak (1998). Indien echter voor de duur van

de fracties de historische duur uit 1998 wordt genomen, blijken de resultaten dichter bij elkaar te komen. Het resterende verschil kan deels verklaard worden doordat de afvoer van de Maas in 1998 niet representatief is voor een langere periode. Aangenomen wordt echter toch dat de historische benadering de werkelijkheid beter benaderd, aangezien een aantal uitgangspunten van de probabilistische benadering niet lijken te kloppen. Dit geldt met name voor de veronderstelling dat een gemiddelde getij cyclus representatief kan zijn voor de invloed van de zeespiegel op de morfologie. In paragraaf 15.2 wordt nader ingegaan op de oorzaken voor de verschillen tussen de twee methoden om randvoorwaarden samen te stellen.

10. Morfologische resultaten

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste morfologische resultaten gepresenteerd, die naar voren komen uit de in hoofdstuk 9 beschreven modellen. Elk model wordt in een afzonderlijke paragraaf beschreven, aangezien de modellen andere doelstellingen (functies) hebben.

Tabel 10.1: Functies van modellen

Model	Functie
Biesbosch historisch	Morfologie Noordwaard (1986-1987), specifiek onder dagelijkse omstandigheden.
NDB-model historisch	Morfologie Noordwaard (1998) algemeen & Effect van modelaanpassingen
NDB-model probabilistisch	Quasi statische benadering (statistisch jaar) & Controle model met historische randvoorwaarden

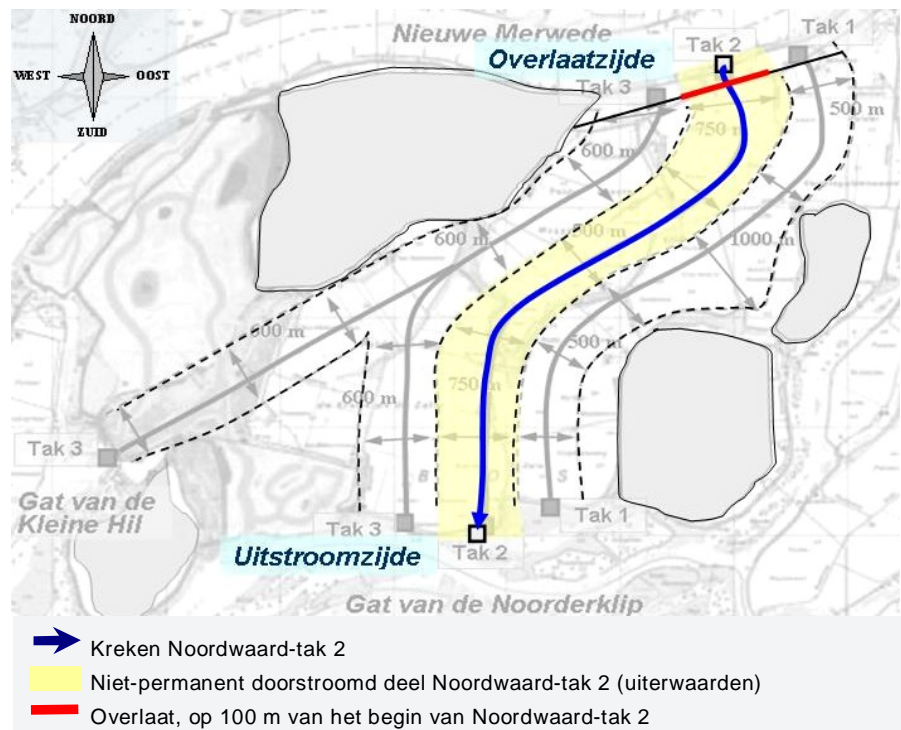
Presentatie gegevens

Ten behoeve van een eenvoudige visualisatie is uitgegaan van één Noordwaard-tak. Gekozen is voor Noordwaard-tak 2, de volgende aspecten zijn bepalend voor deze keuze:

- Het verhang van de rivier de Nieuwe Merwede zorgt voor een verschil in waterstand over de lengte van de overlaat. Doordat tak 2 in het midden van de overlaat ligt, heeft dit verschil in waterstand slechts een kleine invloed op de resultaten.
- De geschematiseerde breedte van de overlaat voor tak 2 is gelijk aan de breedte van het dwarsprofiel van tak 2, wat voor de andere takken niet het geval is.
- De sedimentatie in tak 2 bedraagt ongeveer 50% van de totale sedimentatie in het doorstroomgebied (zie §11.3), waardoor resultaten eenvoudig om te rekenen zijn voor het gehele gebied.

Figuur 10.1: Weergave Noordwaard-tak 2, welke gebruikt wordt bij de presentatie van de morfologische resultaten.

- Noordwaard-tak 2 is opgedeeld in 26 segmenten (aan de benedenstroomse zijde van de overlaat).
- Alle segmenten hebben een oppervlak van 10000m², uitgezonderd het eerste segment (6000m²).

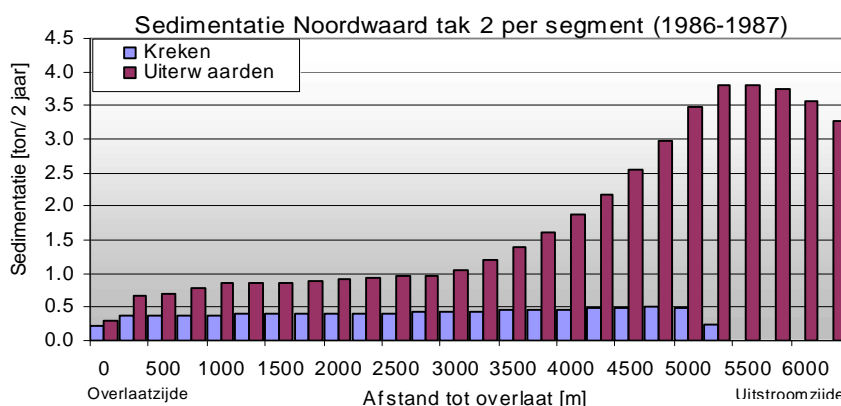


10.1 Biesbosch historisch

Met behulp van het Biesbosch-model (figuur 9.4), waarbij slechts de benedenstroomse randvoorwaarden worden meegenomen, is de sedimentatie voor de jaren 1986-1987 in Noordwaard-tak 2 bepaald (figuur 10.2). Uit de resultaten blijkt dat er sprake is van zeer beperkte sedimentatie onder dagelijkse omstandigheden. Het uitgangspunt van dit model, dat de dagelijkse omstandigheden maatgevend zijn voor de morfologie, gaat dan ook niet op. Het verdient dus aanbeveling een model met een ruimere afbakening te kiezen (NDB-model).

.....
 Figuur 10.2: Weergave sedimentatie [ton per twee jaar, per segment], door dagelijkse omstandigheden, in de krekens en uiterwaarden (floodplains) van Noordwaard-tak 2 voor 1986-1987

- links: Noordzijde doorstroomgebied.
- rechts: Zuidzijde doorstroomgebied.
- De niet-permanent doorstroomde (hoge) delen van het doorstroomgebied worden als uiterwaarden aangeduid.



Voorbeeld: Interpretatie figuur 10.1.

Uit figuur 10.1 valt af te lezen dat in de uiterwaarden van segment 24 (tussen 5500m en 5750m van de Nieuwe Merwede) per twee jaar circa 3.7 ton sediment bezinkt.

Voorbeeld: Omrekening hoeveelheden (massa -> volume).

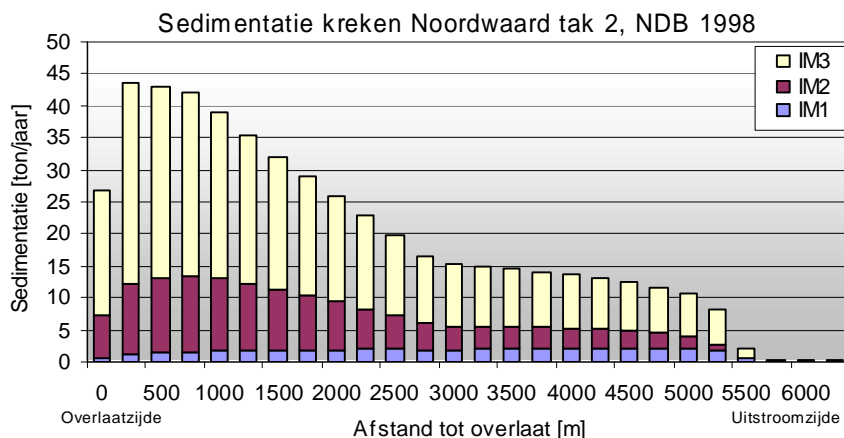
Bij een segment oppervlak van 10000m^2 en een ρ_b van 800kg/m^3 geldt dat een sedimentatie van 2 ton per jaar (in figuur 10.1) correspondeert met een jaarlijkse sedimentatie van nog geen 0,3mm.

10.2 NDB-model historisch (1998)

Met behulp van het NDB-model (figuur 9.5) is voor het basisjaar 1998 de sedimentatie in het doorstroomgebied bepaald. In de figuren 10.3 en 10.4 wordt de sedimentatie (in ton/jaar) per segment weergegeven.

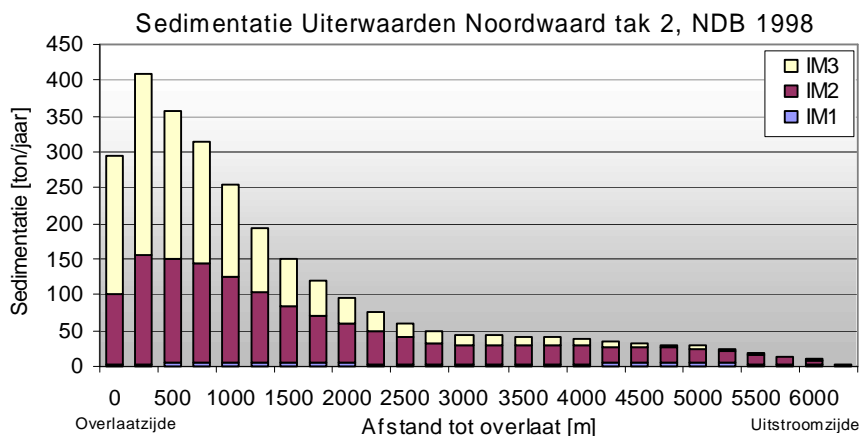
.....
 Figuur 10.3: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment], per zwevend stof component, in de krekens van Noordwaard-tak 2 (uitgaande van meetdata voor 1998).

- IM1, IM2 en IM3 zijn respectievelijk de fijn slib, grof slib en fijn zand fracties van het zwevend stof.



.....
 Figuur 10.4: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment], per zwevend stof component, in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2 (uitgaande van meetdata voor 1998).

- IM1, IM2 en IM3 zijn respectievelijk de fijn slib, grof slib en fijn zand fracties van het zwevend stof.



De sedimentatie wordt grotendeels bepaald door de fijn zand en geflocculeerd slib componenten (IM3 en IM2), welke via de overlaat toegevoerd worden. Duidelijk is dan ook dat de bovenstroomse toevoer van sediment (vanaf de overlaat), een grote invloed heeft op de morfologie van het gebied. De sedimentatie in het eerste segment is in absolute zin lager dan in het tweede, omdat dit segment kleiner is dan de andere segmenten (6000m² in plaats van 10000m²).

Aan de hand van de jaarlijkse sedimentatie (in ton/jaar) wordt de gemiddelde aanslibbing van de bodem (in mm/jaar) per segment bepaald, uitgaande van 1998 als representatief jaar (figuur 10.5). Het omrekenen wordt in onderstaand voorbeeld toegelicht.

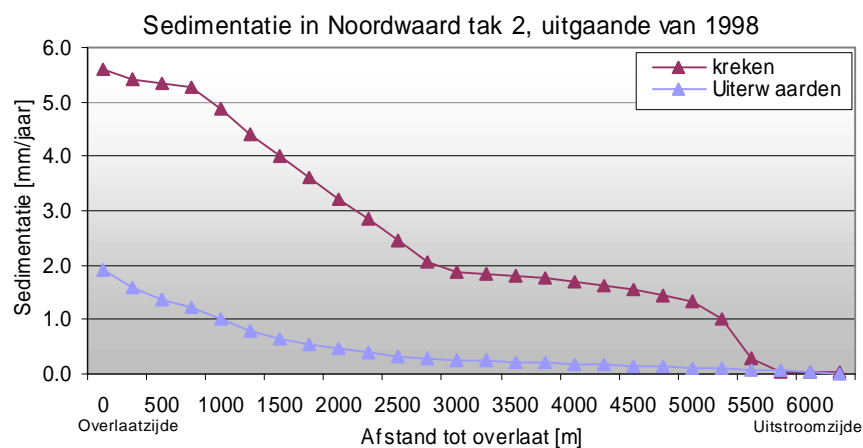
Voorbeeld: Omrekening hoeveelheden (massa -> volume).

Uitgaande van een segment oppervlak van 10000m² ; ρ_b : 800 kg/m³)

Een sedimentatie van ≈ 42 ton per jaar correspondeert met een jaarlijkse sedimentatie van circa 5,3mm.

.....
 Figuur 10.5: Weergave sedimentatie [mm/jaar] voor de kreken en uiterwaarden van Noordwaard-tak 2. Uitgaande van meetdata voor 1998.

- De niet-permanent doorstroomde (hoge) delen van het doorstroomgebied worden als uiterwaard aangeduid.



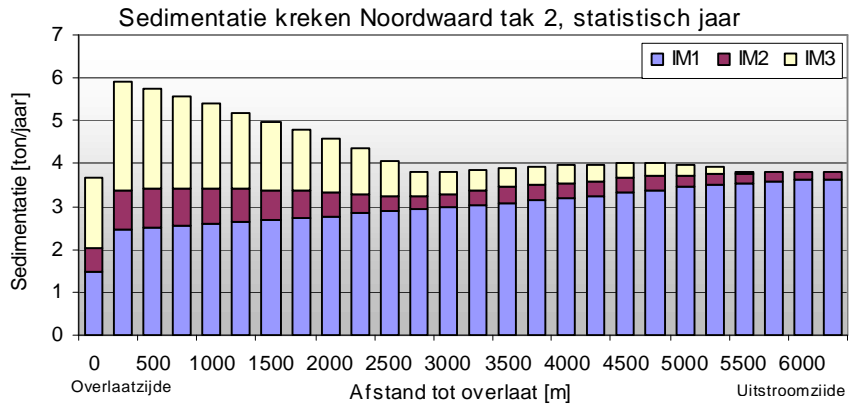
De sedimentatie (in mm/jaar) in de uiterwaarden is kleiner dan in de kreken. Dit wordt deels veroorzaakt door het grote oppervlak van de uiterwaarden alsmede door een sterkere verdroging van het sediment in de uiterwaarden, waardoor meer inklinking optreedt. Dit laatste aspect wordt meegenomen in het soortelijk gewicht (ρ_b) van het sediment (zie ook §8.6).

10.3 NDB-model probabilistisch (statistisch jaar)

Indien de randvoorwaarden van het NDB-model probabilistisch samengesteld worden, dan kan de morfologische verandering in een statistisch jaar bepaald worden (figuur 10.6 en 10.7).

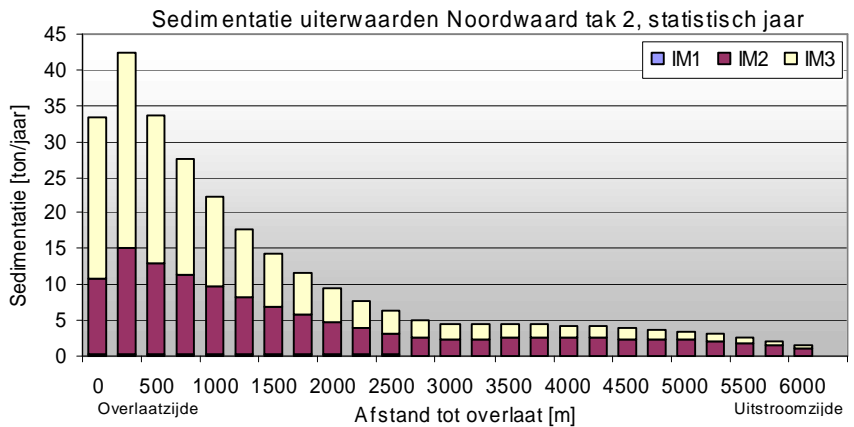
Figuur 10.6: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment], per zwevend stof component, in de krekens van Noordwaard-tak 2. Bij probabilistisch samengestelde randvoorwaarden, voor een statistisch jaar.

- IM1, IM2 en IM3 zijn respectievelijk de fijn slib, grof slib en fijn zand fracties van het zwevend stof.



Figuur 10.7: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment], per zwevend stof component, in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2. Bij probabilistisch samengestelde randvoorwaarden, voor een statistisch jaar.

- IM1, IM2 en IM3 zijn respectievelijk de fijn slib, grof slib en fijn zand fracties van het zwevend stof.

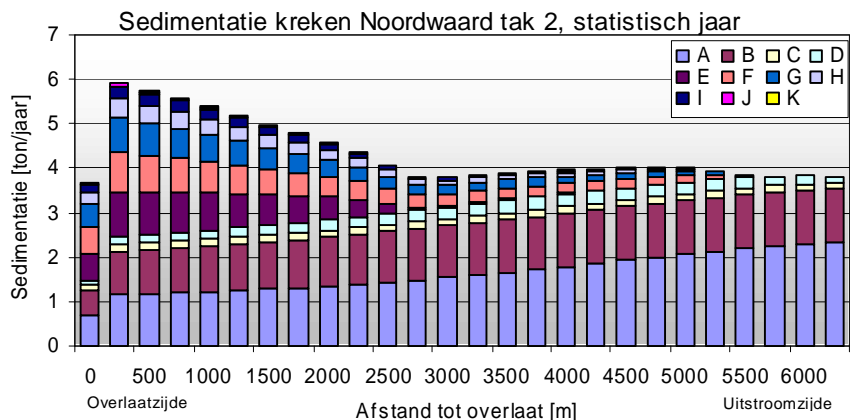


Uit de berekeningen komt naar voren dat de sedimentatie bij de probabilistische aanpak (voor een statistisch jaar) aanzienlijk kleiner is dan voor de historische aanpak (met 1998 als basisjaar). Dit geldt met name voor de grove sedimentcomponenten (IM2 en IM3), de fijn slib component (IM1) blijkt minder gevoelig te zijn voor de hydraulische omstandigheden (vergelijk: figuur 10.3 en 10.6).

Naast de invloed van de zwevend stof componenten is het ook interessant om de invloed van de afvoerfracties (tabel 9.2) op de sedimentatie te visualiseren (figuur 10.8 en 10.9).

Figuur 10.8: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment] per afvoerfractie (A-K) in de krekens van Noordwaard-tak 2. Bij probabilistisch samengestelde randvoorwaarden, voor een statistisch jaar.

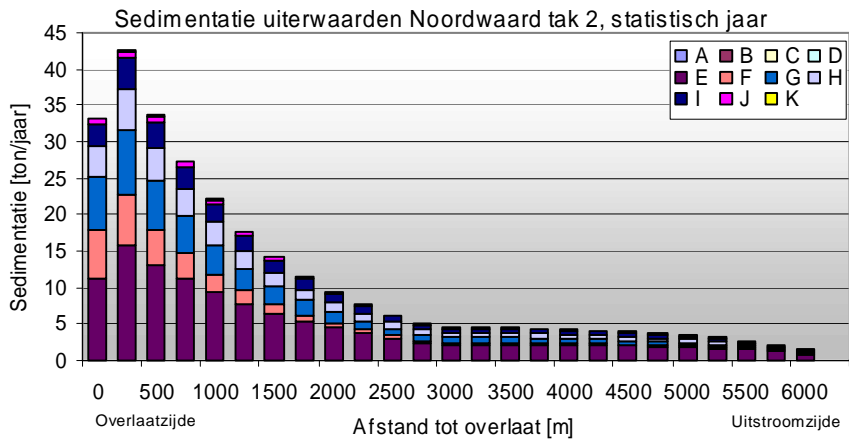
- De afvoerfracties A-K hebben betrekking op afvoeren van de Rijn, waarbij A een lage en K een zeer hoge afvoer is (tabel 9.2).



Duidelijk is te zien dat de krekken deels door de twee laagste (A en B) en deels door hogere (E t/m H) afvoerfracties beïnvloed worden, terwijl de sedimentatie in de uiterwaarden hoofdzakelijk plaats vindt tijdens de hogere afvoerfracties (E-I). Bij de hoogste afvoerfracties (J en K) vindt vrijwel geen sedimentatie plaats, omdat de stroomsnelheden te hoog zijn.

.....
 Figuur 10.9: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment] per afvoerfractie (A-K) in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2 Bij probabilistisch samengestelde randvoorwaarden, voor een statistisch jaar.

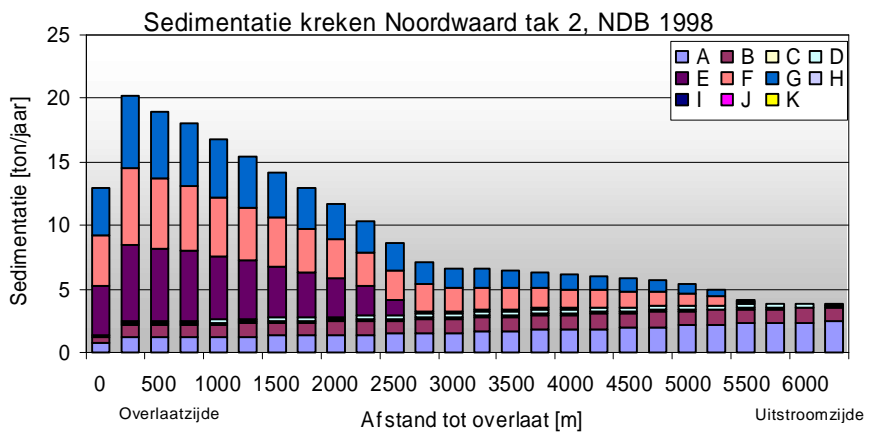
- De afvoerfracties A-K hebben betrekking op afvoeren van de Rijn, waarbij A een lage en K een zeer hoge afvoer is (tabel 9.2).



Indien voor de verdeling van de afvoerfracties niet een statistisch jaar maar 1998 wordt genomen, blijken de resultaten dichter bij elkaar te komen. De oorzaak hiervan ligt in het feit dat 1998 een groot aandeel van de fracties E t/m G kent. In de figuren 10.10 en 10.11 wordt dit verduidelijkt.

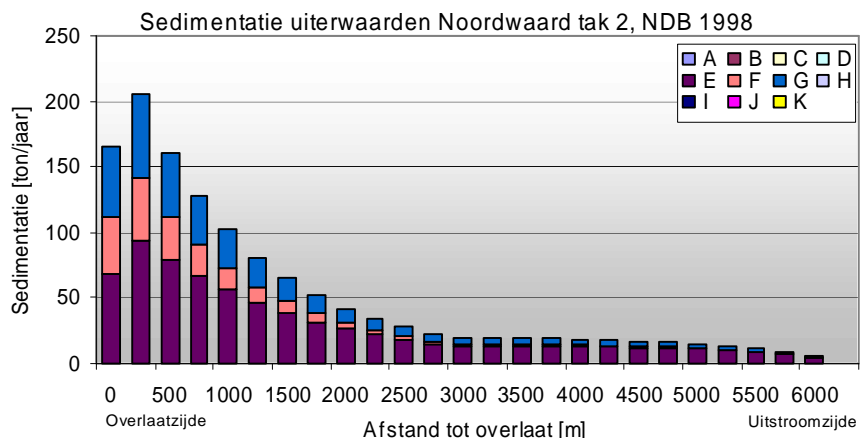
.....
 Figuur 10.10: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment] per afvoerfractie in de krekken van Noordwaard-tak 2. Bij probabilistisch samengestelde randvoorwaarden, met 1998 als basisjaar.

- De afvoerfracties A-K hebben betrekking op afvoeren van de Rijn, waarbij A een lage en K een zeer hoge afvoer is (tabel 9.2).



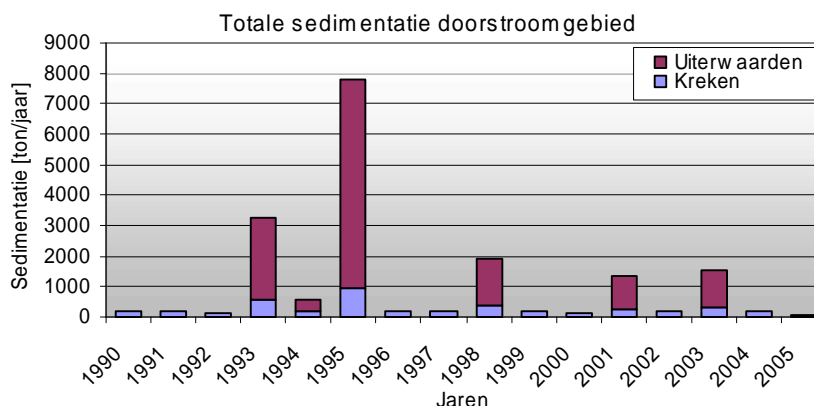
.....
 Figuur 10.11: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment] per afvoerfractie in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2. Bij probabilistisch samengestelde randvoorwaarden, met 1998 als basisjaar.

- De afvoerfracties A-K hebben betrekking op afvoeren van de Rijn, waarbij A een lage en K een zeer hoge afvoer is (tabel 9.2).



Als gekeken wordt naar de totale sedimentatie in Noordwaard voor verschillende jaren dan blijkt er een grote jaarlijkse variatie te zijn (figuur 10.12; tabel 10.2). Uitgangspunt hierbij is dat de sedimentatie in tak 2 ruwweg de helft van de totale sedimentatie bedraagt (zie §11.3).

.....
 Figuur 10.12: Totale sedimentatie [ton/jaar] in het doorstroomgebied van de Noordwaard, voor verschillende jaren.



.....
 Tabel 10.2: Totale sedimentatie in het doorstroomgebied voor verschillende jaren in tak 2 van de Noordwaard. [mm/jaar]

	Stat.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
kreken	112	83	81	77	274	99	461	78	81	176	92	76	119	97	166	83	19
uiterwaard	278	0	0	0	1303	177	3312	0	0	745	0	0	532	0	568	0	0
totaal	391	83	81	77	1578	277	3773	78	81	921	92	76	652	97	734	83	19

Voorbeeld: Omrekening sedimentatie tak 2 naar Noordwaard algemeen.

De sedimentatie in Noordwaard-tak 2, blijkt voor het jaar 1998 ongeveer 48% van de totale sedimentatie in het doorstroomgebied (alle drie de takken, zie §11.3) te bedragen. De totale sedimentatie bedraagt dus ruwweg het dubbele van de sedimentatie in Noordwaard-tak 2.

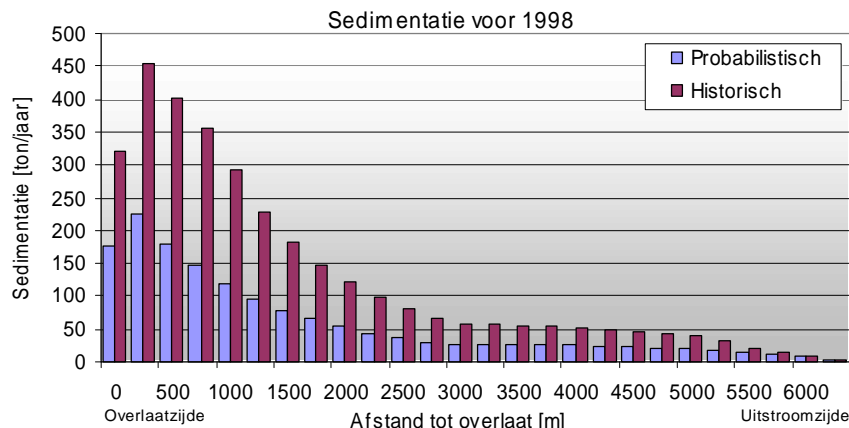
10.4 Conclusies morfologie

Uit de morfologische berekeningen wordt duidelijk dat de jaarlijks verschillende hydraulische omstandigheden een grote invloed hebben op de morfologie van het doorstroomgebied. Reden hiervoor is dat in jaren met één of enkele hoge afvoeren (>9000 m³/s) aanzienlijke sedimentatie achter de overlaat (aan de noordkant van het doorstroomgebied) optreedt. In het jaar 1998 treedt ook een versterkte sediment toevoer op, door een paar dagen met een hoge afvoer. De absolute hoeveelheden (in ton/jaar) zijn groot, maar worden over een groot gebied verspreid, waardoor de sedimentatie (in mm/jaar) vrij beperkt is. Zeker als het effect vergeleken wordt met dat bij andere projecten, zoals de Gamerensche Waard (Jans et al., 2004). Hierbij moet echter wel opgemerkt worden dat een groot deel van de sedimentatie bij projecten als de Gamerensche Waard veroorzaakt wordt door bodemtransport (zand) en slechts deels door suspensief transport (slib). De lagere sedimentatie in de Noordwaard kan dan ook deels verklaard worden door de aanwezigheid van een (relatief hoge) overlaat, waardoor bodemtransport wordt tegengehouden.

In bijlage H wordt de redelijkheid van de modeluitkomsten gecontroleerd, door zwevend stof concentraties en stroomsnelheden in

het gebied te onderzoeken. Duidelijk is echter ook dat er een behoorlijke onzekerheid zit in de uitkomsten. Dit valt met name op als de probabilistische en de historische analyse (beide met 1998 als basisjaar) met elkaar vergeleken worden (figuur 10.13).

.....
 Figuur 10.13: Weergave sedimentatie [ton/jaar, per segment] in Noordwaard-tak 2 voor de probabilistische en de historische aanpak (beide met 1998 als basisjaar).



Enkele structurele aspecten die bij kunnen dragen aan het verschil in sedimentatie, zijn gerelateerd aan de uitgangspunten van beide benaderingen:

- Tijdsafhankelijke effecten;
 - Hoogwatergolf of quasi-stationaire afvoer;
 - Lozingsprogramma Haringvlietsluizen.
- Invloed van de Maas, die zich niet 1 op 1 met de Rijn gedraagt;
- Invloed zeewaterstanden;
- De discretisatie van de afvoer fracties.

Met name de eerste drie aspecten hebben een grote invloed op de resultaten van de probabilistische analyse. In hoofdstuk 9 werd daarom al aangegeven dat de historische analyse het betrouwbaarste beeld zal geven van de morfologie van het doorstroomgebied (in ieder geval voor het jaar 1998). In paragraaf 15.2 wordt nader ingegaan op de oorzaken voor de verschillen tussen de twee methoden om randvoorwaarden samen te stellen.

Aan de 1D benadering kleven ook enkele bezwaren. Het belangrijkste bezwaar is dat de ruimtelijke verdeling (in 2D) van de sedimentatie (of eventuele erosie) over het gebied niet goed bepaald kan worden. Een concrete aanbeveling is dan ook om hier in een vervolgstudie naar te kijken (§15.3), dit geldt met name voor de hoge afvoeren van de Rijn. Om toch een indruk te kunnen krijgen van de ruimtelijke verdeling van de sedimentatie in het doorstroomgebied is een model opgezet dat de morfologie tijdens een hoogwatergolf (16000 m³/s) globaal weergeeft (bijlage G).

In hoofdstuk 11 wordt op de gevoeligheid van de historisch samengestelde randvoorwaarden ingegaan, waarna in hoofdstuk 12 de effecten van verschillende aanpassingen aan het model worden onderzocht. In hoofdstuk 13 wordt de hydraulische uitvoer van het model verduidelijkt.

11. Gevoeligheidsanalyse

Om inzicht te krijgen in de betrouwbaarheid van de resultaten en de onzekerheden in de uitkomsten wordt de gevoeligheid geanalyseerd. Er is gekeken naar een aantal aspecten:

- Valsnelheid (§4.1);
- Kritische schuifspanning (§4.2);
- Geometrische variatie (§4.3);
- Overige aspecten (§4.4).

11.1 Valsnelheid

Om de gevoeligheid van het model voor variatie van de valsnelheden te checken, is uitgegaan van een halvering en verdubbeling van de karakteristieke valsnelheid van de sedimentfracties.

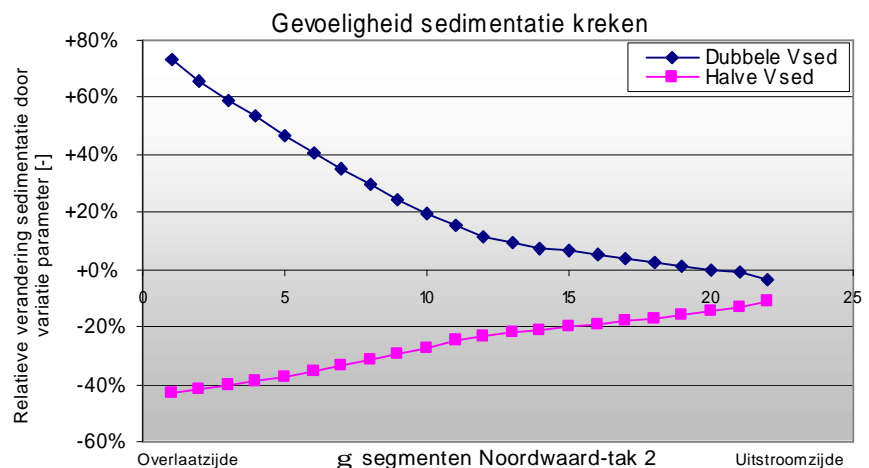
Tabel 11.1: Variatie valsnelheid ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse.

Valsnelheid	Pilot-slibmodel [m/d]	Halvering [m/d]	Verdubbeling [m/d]
V_{Sed} (IM1)	0,25	0,125	0,5
V_{Sed} (IM2)	10	5	20
V_{Sed} (IM3)	25	12,5	50

Variatie valsnelheid

Indien de valsnelheid gevarieerd wordt, dan heeft dit een aanzienlijk effect op de sedimentatie in het gebied. Vooral in het bovenstroomse deel van de kreken treedt versterkte (bij een hogere valsnelheid) of verminderde (bij een lagere valsnelheid) sedimentatie op. Het effect van een verdubbeling in de valsnelheid op de sedimentatie ligt tussen de 0 en 70 %.

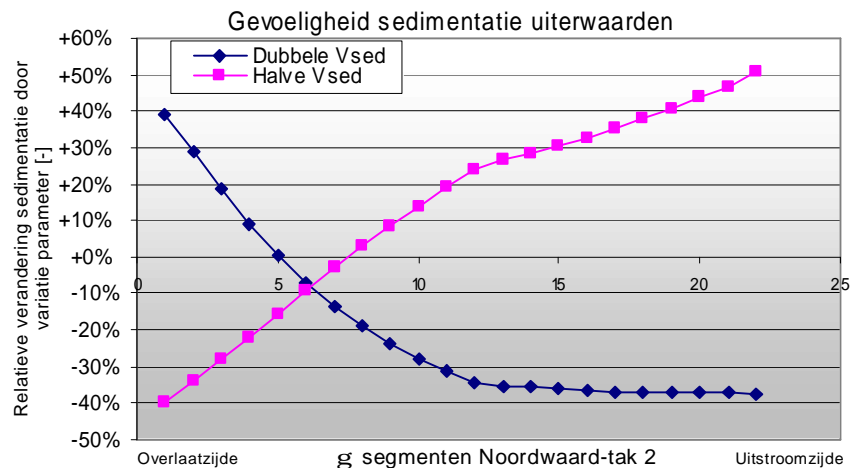
Figuur 11.1: Gevoeligheid sedimentatie in de kreken van Noordwaard-tak 2, bij variatie van de valsnelheid.



In de uiterwaarden vindt, bij een verandering van de valsnelheid, een tegengesteld effect plaats benedenstrooms. Zo is te zien dat bij een verdubbelde valsnelheid de sedimentatie in het bovenstroomse deel

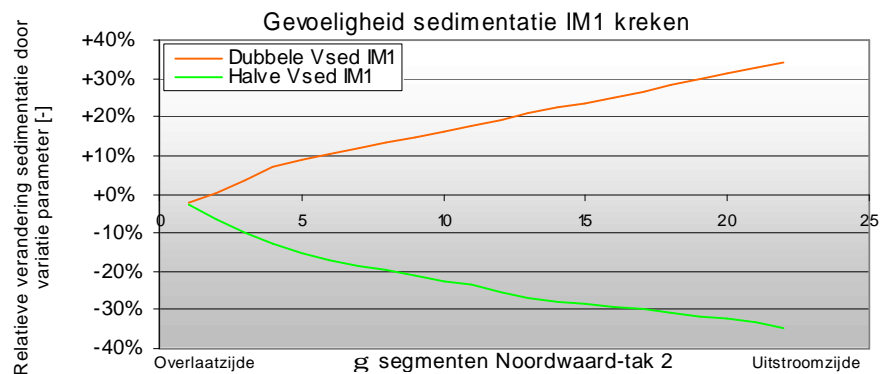
toeneemt. In het benedenstroomse deel is dan minder zwevend stof, waardoor hier minder sedimentatie plaats vindt.

Figuur 11.2: : Gevoeligheid sedimentatie in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2, bij variatie van de valsnelheid.

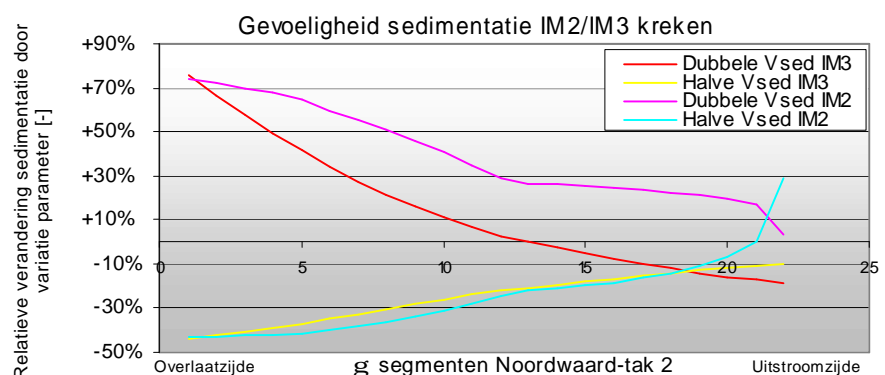


Uit de gevoeligheidsanalyse kan tevens het patroon van sedimentatie voor de drie zwevend stof fracties onderscheiden worden. Te zien is dat meer fijn slib (IM1) aan de kant van de Biesbosch sedimenteert bij een grotere valsnelheid. Dit duidt op een aanvoer die overwegend aan deze zijde plaats vindt én tevens een dominantie van de dagelijkse omstandigheden voor de sedimentatie van fijn slib. Fijn zand en geflocculeerd slib (respectievelijk IM2 en IM3) worden voornamelijk via de overlaat toegevoerd, zij kennen aan de inlaatzijde een duidelijke toe- of afname bij variatie van de valsnelheden. De invloed van het fijne slib op de totale sedimentatie is echter vrij klein, waardoor de toegenomen sedimentatie van fijn slib aan de Biesbosch zijde niet in figuur 11.1 te onderscheiden is.

Figuur 11.3: Variatie in de fijn slib component (IM1) bij variatie van de valsnelheid, in Noordwaard-tak 2



Figuur 11.4: Variatie in de grof slib en fijn zand componenten (IM2,IM3) bij variatie van de valsnelheid, in Noordwaard-tak 2



Effect

Het effect op de totale sedimentatie in het doorstroomgebied wordt in tabel 11.2 weergegeven.

Tabel 11.2: Effect variatie valsnelheid op totale sedimentatie van Noordwaard-tak 2.

Valsnelheid	Sed.Kreken	Sed.Floodplains	Totale Sed.
Halvering	-30,8 %	-10,3 %	-13,5 %
Verdubbeling	+33,4 %	+1,7 %	+6,6 %

Een halvering of verdubbeling is echter een heel extreme afname, aangezien de valsnelheid een relatief zekere parameter is (Van Wijngaarden, 1998). Bij een verwachte afwijking van $\pm 10\%$ zal de onzekerheid in de totale sedimentatie ten gevolge van de valsnelheid tussen de -3% en +2% bedragen.

11.2 Kritische schuifspanning

Om de gevoeligheid van het model voor variatie van de kritische schuifspanningen te analyseren is uitgegaan van een halvering en verdubbeling van de fractie karakteristieke kritische schuifspanningen.

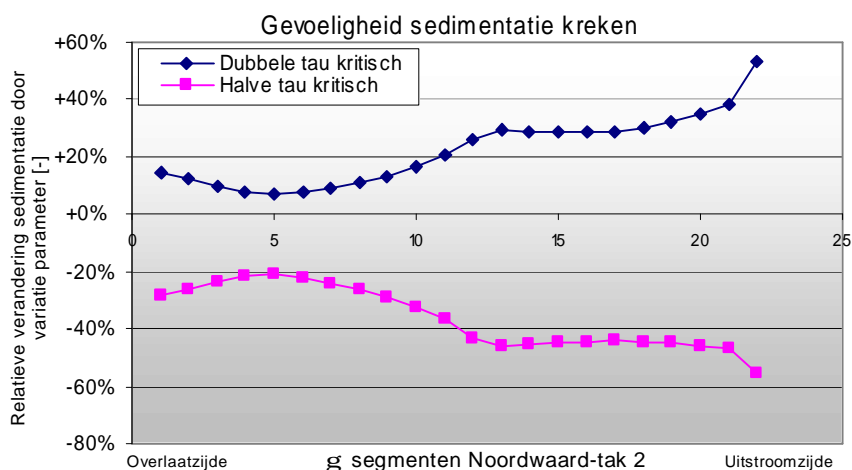
Tabel 11.3: Variatie kritische schuifspanning parameters ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse.

Kritische tau	Pilot-slibmodel [N/m ²]	Halvering [N/m ²]	Verdubbeling [N/m ²]
Tau _{kritisch} (IM1)	0,55	0,27	1,1
Tau _{kritisch} (IM2)	2,11	1,05	4,22
Tau _{kritisch} (IM3)	4,97	2,48	9,94

Variatie kritische schuifspanning

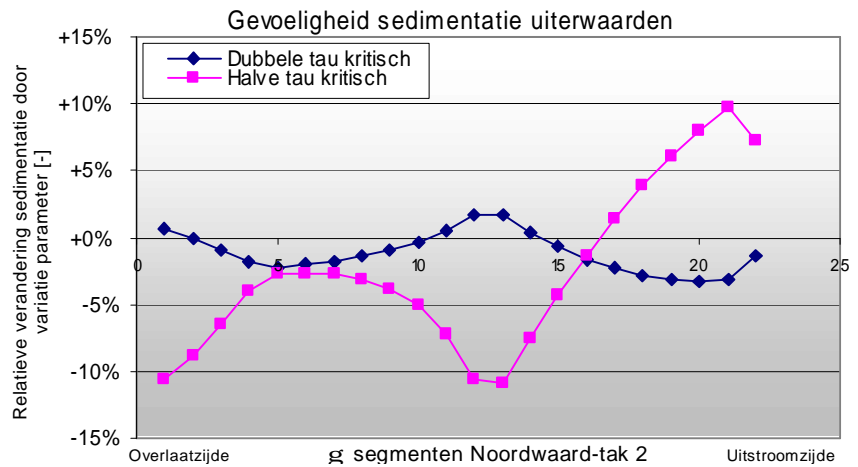
Door een verdubbeling van de kritische schuifspanningen zal tussen de 10% en 40% meer sedimentatie optreden in de kreken. In het gebied achter de overlaat, waar het grootste deel van de sedimentatie plaats vindt, is het effect relatief beperkt. Dit duidt dus op een grotere spreiding van het sediment bij hogere kritische schuifspanningen.

Figuur 11.5: Gevoeligheid sedimentatie in de kreken van Noordwaard-tak 2, bij variatie van de kritische schuifspanningen.



Het effect van een variatie in de kritische schuifspanningen op de uiterwaarden is vrij beperkt. Ter plaatse van de versmalling in Noordwaard-tak 2 (segment 13) is wel extra variatie te zien.

Figuur 11.6: Gevoeligheid sedimentatie in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2, bij variatie van de kritische schuifspanningen.



Effect

Indien gekeken wordt naar de absolute invloed van variatie in de kritische schuifspanning op de sedimentatie, dan blijkt de invloed op de sedimentatie iets minder groot te zijn dan bij de variatie in de valsnelheid.

Tabel 11.4: Effect variatie kritische schuifspanningen op totale sedimentatie van Noordwaard-tak 2.

Tau _{kritisch}	Sed. Kreeken	Sed. Floodplains	Totale Sed.
Halvering	-31,5 %	-5,4 %	-9,4 %
Verdubbeling	+17,6 %	+0,8 %	+2,0 %

Voor de onzekerheid in de kritische schuifspanning wordt opnieuw uitgegaan van $\pm 10\%$ (Van Wijngaarden, 1998). Dit resulteert in een onzekerheid in de totale sedimentatie ten gevolge van de kritische schuifspanningen van -2% tot +0,5%.

11.3 Geometrische variaties

De invloed van verschillen in de geografie en modellering van de verschillende Noordwaard-takken, geven een indicatie omtrent de gevoeligheid van het model voor deze parameters. De interpretatie van deze verschillen is echter vrij lastig, gezien het feit dat een viertal verschillende aspecten invloed hebben op de sedimentatie in de takken, namelijk:

- Ligging aan Nieuwe Merwede;
- Lengte tak;
- Breedte tak;
- Breedte overlaat.

De hydraulische randvoorwaarden zijn verschillend voor de drie Noordwaard-takken, aangezien ze niet op dezelfde locatie op de Nieuwe Merwede aansluiten. Dit komt door het verval in de waterstanden op de Nieuwe Merwede. Voor een overlaatconstructie met een geschematiseerde lengte van 1750m bedraagt dit al circa 10cm. Bij een volkomen overlaat heeft dit verschil een grote invloed op het toegevoerde debiet. Een ander aspect is de modellering van het gebied. De lengte van de eerste en derde Noordwaard-tak is korter dan die van tak 2, waardoor iets minder sedimentatie zou kunnen

optreden. Tevens zijn de breedtes van de profielen en de overlaten verschillend, de eerste Noordwaard-tak heeft een relatief kleine overlaat van 250m breedte, terwijl de overlaat bij tak drie 750m breed is. Dit beperkt de instroom van water en sediment aanzienlijk. Voor Noordwaard-tak 2 geldt het omgekeerde. De bovenstaande effecten worden kwalitatief weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 11.5: Kwalitatieve vergelijking van de totale sedimentatie van Noordwaard-tak 1 en 3 met tak 2.

Parameter	Sed. Tak 1 t.o.v. tak 2	Sed. Tak 3 t.o.v. tak 2
Locatie overlaat	++	--
Breedte overlaat	--	+/o
Lengte gebied	-	-

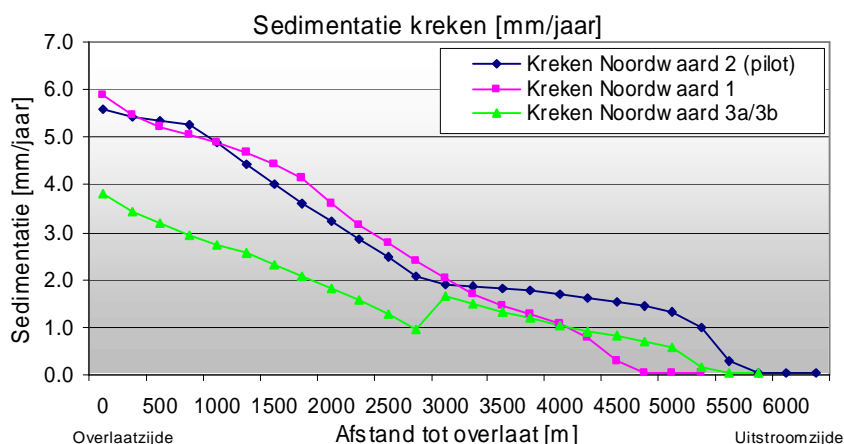
* + meer sedimentatie
- minder sedimentatie

Sedimentatie takken Noordwaard

Het sedimentatie beeld voor de kreken van tak 1 is in grote mate vergelijkbaar met dat van tak 2, het benedenstroomse deel sedimenteert echter duidelijk minder. Dit komt door de beperktere fijn slib aanvoer vanuit de Biesbosch, wat samenhangt met het feit dat deze tak verder in de Biesbosch ligt.

Figuur 11.7: Sedimentatie [mm/jaar], over de segmenten van de kreken van de drie Noordwaard-takken.

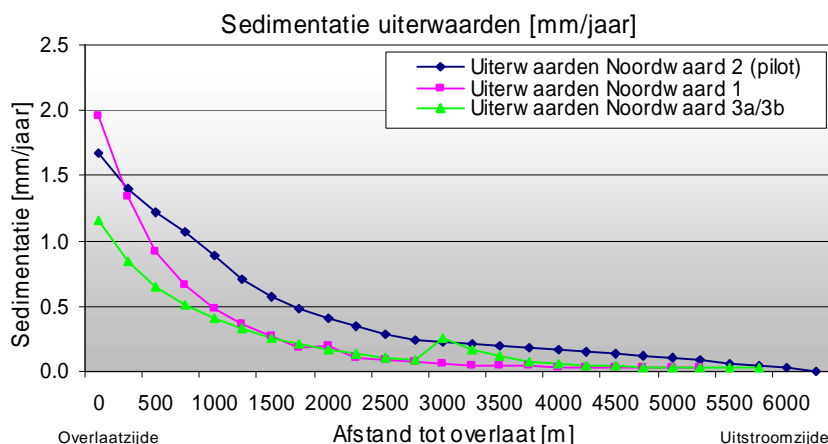
- links: Noordzijde doorstroomgebied.
- rechts: Zuidzijde doorstroomgebied.



Voor de uiterwaarden geldt dat de sedimentatie in tak 1 en 3 aanzienlijk lager is dan in tak 2. Bij bovenstroomse segmenten, waar de meeste sedimentatie plaats vindt, wordt een verschil van +/-40% geconstateerd.

Figuur 11.8: Sedimentatie [mm/jaar], over de segmenten van de uiterwaarden van de drie Noordwaard-takken.

- links: Noordzijde doorstroomgebied.
- rechts: Zuidzijde doorstroomgebied.



Effect

Ook de totale sedimentatie in de takken 1 en 3 blijkt af te wijken van de sedimentatie in Noordwaard-tak 2. In tabel 11.6 wordt dit verduidelijkt.

Tabel 11.6: Kwantitatieve vergelijking van de totale sedimentatie van Noordwaard-tak 1 en 3 met tak 2.

Geografie	Sed.Kreken	Sed.Floodplains	Totale Sed.
Tak 1 t.o.v. tak 2	-6 %	-36 %	-31 %
Tak 3 t.o.v. tak 2	-35 %	-47 %	-45 %

De veel beperktere sedimentatie in Noordwaard-tak 1 en 3 geeft een indicatie dat de schatting voor Noordwaard-tak 2 aan de hoge kant zou kunnen zijn. Waarschijnlijk zal de sedimentatie over het gehele doorstroomgebied enkele tientallen procenten lager zijn dan de sedimentatie in tak 2 van het doorstroomgebied. Er wordt in dit geval uitgegaan van een lagere totale sedimentatie van 20%, met een onzekerheid van $\pm 25\%$.

11.4 Overige aspecten

11.4.1. Hoogte overlaat

De drempelhoogte van de overlaat aan de noordzijde van het doorstroomgebied kan een grote rol spelen in de morfologie van het doorstroomgebied, aangezien het grootste deel van het sediment via de overlaat het doorstroomgebied instroomt. Hierbij spelen twee aspecten een rol, namelijk:

- Frequentie van optreden van inundatie van de overlaat;
- Morfologisch effect tijdens beperkte inundatie van de overlaat.

Uitgaande van een lognormaal verdeelde afvoer zal een iets hogere of lagere kruin van de overlaat de inundatiefrequentie relatief sterk beïnvloeden. Zeker op korte termijn is dit goed merkbaar, aangezien een inundatiefrequentie (voor de overlaat) van $\frac{1}{4}x$ per jaar of $2x$ per jaar een groot verschil maakt. Bij een andere drempelhoogte zal een afvoergolf immers 'net wel' of 'net niet' de overlaat overstromen, waardoor dus wel of niet aanzienlijke sedimentatie plaats vindt. De hoogte van de overlaat kan echter vrij nauwkeurig bepaald worden. De onzekerheid in de overlaat wordt meegenomen in de onzekerheid van een andere parameter, namelijk de afvoerrandvoorwaarden.

11.4.2. Afvoerrandvoorwaarden

De afvoerrandvoorwaarden zijn tevens van belang voor de toetreding van water via de overlaat tot het doorstroomgebied en daarmee op de sedimentatie in het doorstroomgebied. Met behulp van de uitkomsten van de fractionele benadering kan een inschatting gegeven worden tijdens een statistisch jaar. Hieruit blijkt dat 1998 niet geheel representatief is voor een langjarige periode. De onzekerheid in de afvoeren is echter vrij klein, omdat gebruik gemaakt is van een hydraulisch geverifieerd model. Uitgegaan wordt van een onzekerheid van 2% in de randvoorwaarden, en $\pm 10\%$ voor de morfologische resultaten, welke in de Noordwaard niet geverifieerd kunnen worden.

11.4.3. Zwevend stof randvoorwaarden

De invloed van variatie in de grove zwevend stof componenten zal echter beperkt zijn, omdat deze componenten op het voortraject (Waal, Boven Merwede) weer naar een evenwicht neigen. Dicht bij de randen (op de takken van Bergse Maas, Boven Merwede en Waal) zal dan versterkte sedimentatie optreden, waardoor de verstoring uitgedempt wordt. De invloed van de zwevend stof fractie IM1 (fijn slib) op de totale sedimentatie lijkt ook beperkt. Een aangenomen onzekerheid van 25% in de randvoorwaarden wordt daarom doorvertaald naar een geschatte onzekerheid van $\pm 5\%$ in de totale sedimentatie.

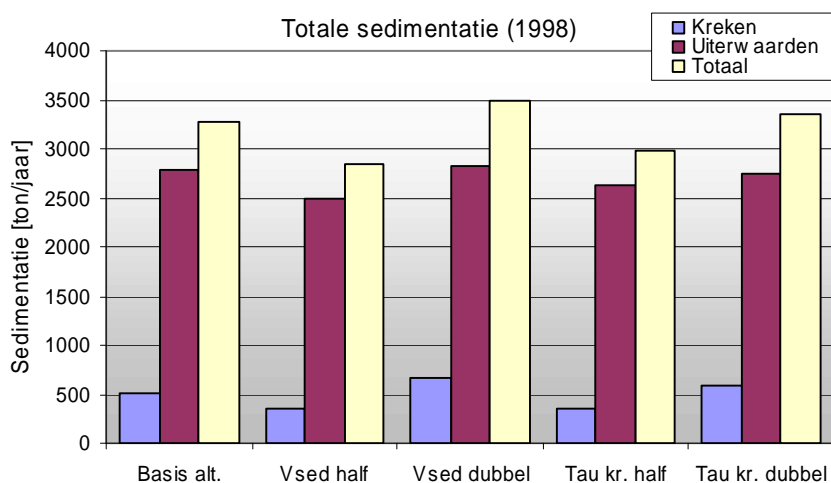
11.4.4. Zand- en slibverdeling op splitsingspunten

Bij de overlaat aan de Nieuwe Merwede zal niet alleen de afvoer verdeeld worden, maar ook de zwevend stof vracht. In de berekeningen met DELWAQ is verondersteld dat deze verdeling gelijkmatig is over de takken. In de praktijk geldt dit alleen in speciale gevallen. Met name de 'relatief' hoge ligging van de overlaat heeft een significante invloed op de verdeling van het zwevend stof. De gekozen afvoer gerelateerde verdeling is dus niet geheel in overeenstemming met de verwachte verdeling maar biedt wel een conservatieve benadering voor de morfologie van het gebied. Met name de sedimentatie van fijn zand (IM3 fractie) kan afhankelijk van de hydraulische situatie lager uitvallen.

11.5 Conclusies gevoeligheidsanalyse

De totale sedimentatie in Noordwaard-tak 2, als gevolg van de aanpassingen aan de zwevend stof procesparameters, is in figuur 11.9 weergegeven. De sedimentatie in de kreken van het doorstroomgebied is gevoelig voor veranderingen in de procesparameters, dit in tegenstelling tot de uiterwaarden. De reden hiervoor is dat in de uiterwaarden met name zwevend stof vanaf de overlaat sedimenteert. Een verandering in de procesparameters zorgt bij de uiterwaarden alleen voor een andere verdeling van de sedimentatie over het gebied. Dit valt goed te zien in figuur 11.2.

.....
Figuur 11.9: De totale sedimentatie [ton/jaar] in Noordwaard-tak 2, bij variatie van de zwevend stof procesparameters (uitgaande van 1998).



De variatie in de totale sedimentatie door de procesparameters is relatief beperkt, daarom wordt verondersteld dat de zwevend stof procesparameters niet de belangrijkste invloedsfactoren op de morfologie zijn. Andere aspecten als geografie en randvoorwaarden spelen een veel grotere rol. Om de onzekerheden in de morfologie voor het jaar 1998 te kunnen schatten, zijn de geschatte parameter onzekerheden vertaald naar onzekerheden in de totale modeluitkomsten.

Tabel 11.7: Vertaling parameter onzekerheden naar geschatte onzekerheden in de modeluitkomsten.

	Parameter onzekerheid	Uitkomst onzekerheid	
		Ondergrens	Bovengrens
V_{sediment}	10%	-3%	+2%
τ_{kritisch}	10%	-2%	+0,5%
Afvoer r.v.w.*	1%	-10%	+10%
Zwevend stof r.v.w.*	25%	-5%	+5%
Geometrie (tak 1&2)	-	-45%	+5%

* betreft niet de jaarlijkse onzekerheid in afvoeren, maar de onzekerheid in de voor 1998 beschikbare meetdata.

Duidelijk is dat de onzekerheden meer neigen naar een lagere uitkomst dan naar een hogere, daarom wordt aangenomen dat de berekende sedimentatie (voor Noordwaard-tak 2) met de historisch samengestelde randvoorwaarden een bovengrens vormt voor de werkelijke uitkomsten, en daarmee een conservatieve benadering.

12. Modelaanpassingen

Om ontwerp vragen omtrent de inrichting van de polder te beantwoorden zijn bepaalde modelaanpassingen gemaakt. Het betreft de volgende aanpassingen.

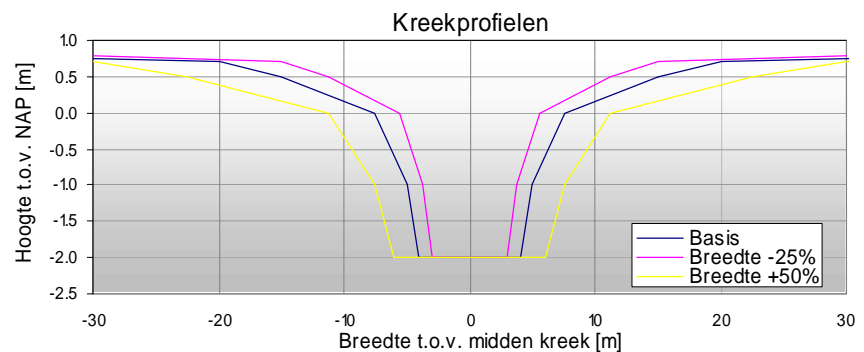
- Aanpassing breedte kreek (§12.1);
- Bergend oppervlak aan noordzijde doorstroomgebied (§12.2);
- Duikers door inlaatconstructie (§12.3);
- Open verbinding met Nieuwe Merwede (§12.4).

Deze aanpassingen zijn toegepast op het uitgebreide Biesbosch-model (figuur 9.6) met historische randvoorwaarden (1998). Met de resultaten kan een goede kwalitatieve afweging tussen de alternatieven gemaakt worden. Tenslotte worden de effecten van de aanpassingen op de morfologie van het doorstroomgebied beschreven (§12.5).

12.1 Breedte kreek

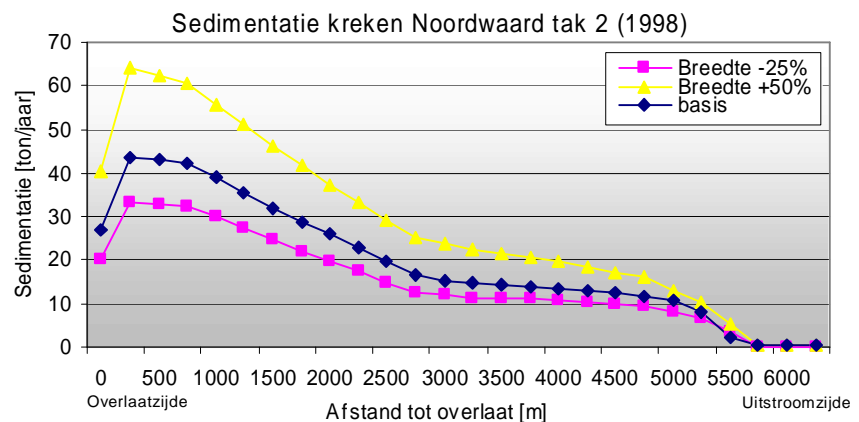
Om te zien wat de mogelijke invloed van een verbreding of versmalling van de kreek is, is de breedte van de kreek gevarieerd. Gekozen is voor een versmalling van de breedte met 25% en een verbreding met 50% tot respectievelijk 30m² en 60m². In figuur 12.1 worden de profielen weergegeven.

Figuur 12.1: Profielen verbrede en versmalde kreek.

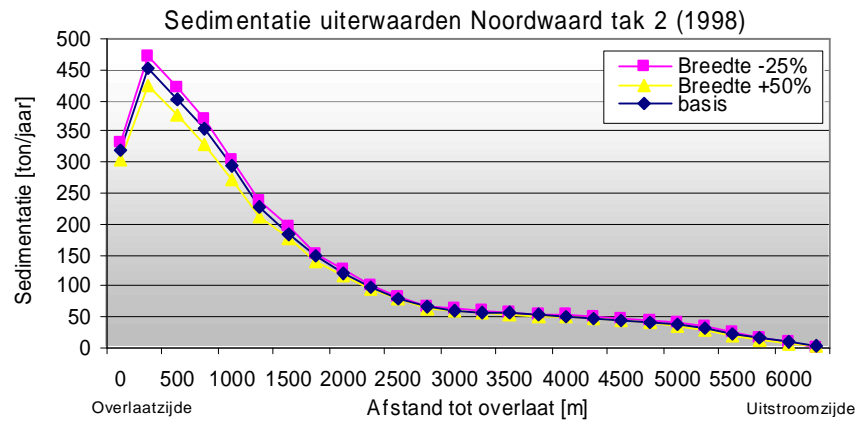


In figuur 12.2 en 12.3 wordt de totale sedimentatie over de lengte van Noordwaard-tak 2 voor de kreek en de uiterwaarden weergegeven.

Figuur 12.2: Sedimentatie [ton/jaar, per segment] in de kreek van Noordwaard-tak 2, na aanpassing van de breedte van de kreek.



.....
 Figuur 12.3: Sedimentatie [ton/jaar, per segment] in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2, na aanpassing van de breedte van de kreek.



Duidelijk is in figuur 12.3 te zien dat de sedimentatie, door verbreding of versmalling, maar beperkt toe- of afneemt.

In tabel 12.1 wordt de relatieve verandering van de sedimentatie (in ton/jaar) ten gevolge van variatie in de breedte van de kreek weergegeven.

.....
 Tabel 12.1: Relatief verschil in totale sedimentatie [ton/jaar] tussen het basis alternatief en een alternatief met gevarieerde breedte van de kreek, voor Noordwaard-tak 2.

Maatregel	Kreken	Uiterwaard	Totaal
Breedte -25%	-23%	+9%	+4%
Breedte +50%	+45%	-15%	-6%

De toename van de totale sedimentatie in de kreken wordt echter grotendeels bepaald door de grotere breedte van de kreek. De sedimentatie (in mm/jaar) is dan ook minder verschil te zien. Het effect op de totale sedimentatie is dus relatief beperkt (tabel 12.2).

.....
 Tabel 12.2: Relatief verschil in sedimentatie [mm/jaar] tussen het basis alternatief en een alternatief met gevarieerde breedte van de kreek, voor Noordwaard-tak 2.

Maatregel	Kreken	Uiterwaard	Totaal
Breedte -25%	+3%	+7%	+4%
Breedte +50%	+3%	-13%	-6%

Opvallend is dat een bredere kreek voor minder sedimentatie zorgt dan een smalle kreek. De reden hiervoor is dat de toestroom van sediment vanaf de overlaat maatgevend is voor de morfologie. Er vindt dan minder sedimentatie plaats als het gebied sneller af kan wateren, wat bij een brede kreek het geval is. Als dagelijkse omstandigheden maatgevend zijn zal juist minder sedimentatie optreden bij een smallere kreek, wat zorgt voor hogere stroomsnelheden en een geringere getijdoordringing.

12.2 Bergend oppervlak

Er wordt in hoofdstuk 6 al ingegaan op de mogelijkheid om, doormiddel van een grote bergende kom (aan de noordzijde van het doorstroomgebied), de gemiddelde stroomsnelheden in de kreken te verhogen. Een groter deel van het water zal dan tot het einde van de kreken doorstromen, waardoor de stroomsnelheden in de kreken onder dagelijkse omstandigheden niet lineair afnemen tot aan de overlaat, maar hoog blijven tot aan het bergingsmeer.

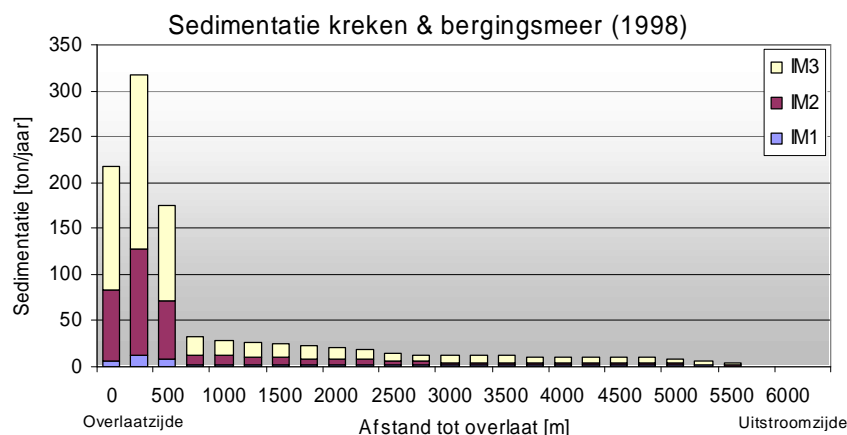
Ten behoeve hiervan is voor Noordwaard-tak 2 een kom met een bergend oppervlak van 50000m² geschematiseerd (zie tabel 12.3). Deze is 150 meter achter de overlaat gelokaliseerd (op het grensvlak van het eerste en tweede segment achter de overlaat).

Tabel 12.3: Berging van de geschematiseerde kom bij verschillende waterdieptes.

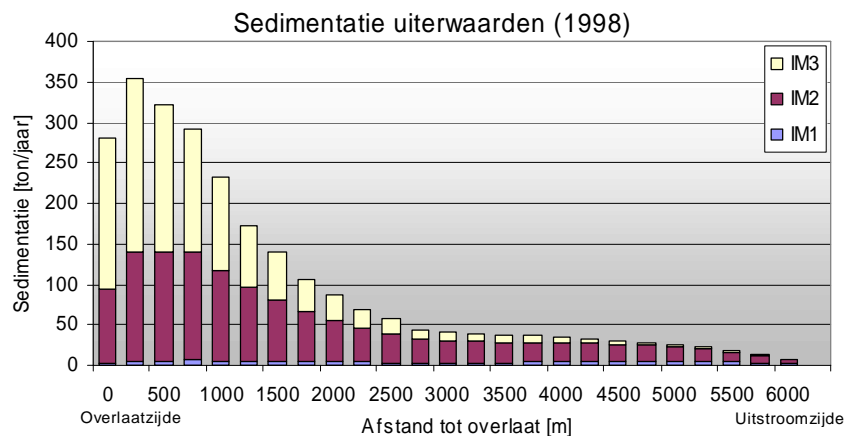
Water diepte [m t.o.v. NAP]	Bergend oppervlak [m ²]
-2	30.000
-1	40.000
0	45.000
0,8	50.000

De totale sedimentatie in krekens en uiterwaarden (van Noordwaard-tak 2) wordt in figuur 12.4 en 12.5 gegeven. In figuur 12.6 wordt het verschil in sedimentatie tussen het basis ontwerp en het alternatief met de bergende kom weergegeven.

Figuur 12.4: Sedimentatie [ton/jaar, per segment] in de krekens en de kom van Noordwaard-tak 2, na vergroting van het kombergend oppervlak (uitgaande van 1998).

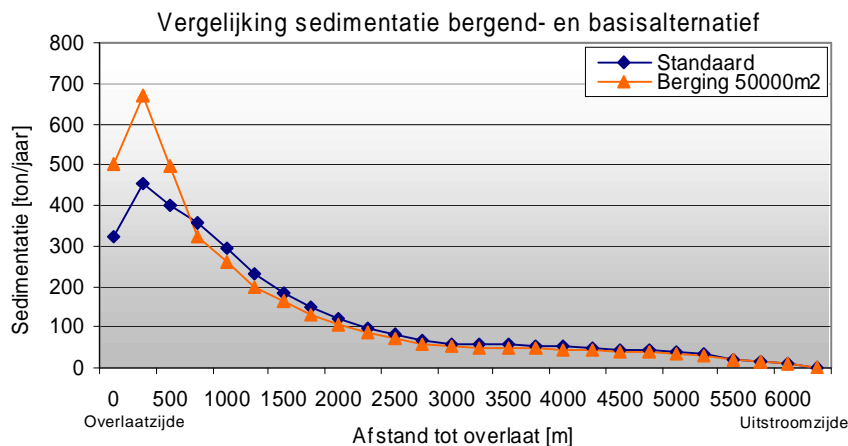


Figuur 12.5: Sedimentatie [ton/jaar, per segment] in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2, na vergroting van het kombergend oppervlak (uitgaande van 1998).



In figuur 12.4 is een sterke toename van de sedimentatie in de eerste segmenten te zien (in de geschematiseerde kom). In de uiterwaarden is de sedimentatie afgenomen. Wat verder opvalt is dat vrijwel alle fijn slib sedimenteert in de hiervoor ontworpen kom. Als uitgegaan wordt van dagelijkse omstandigheden zal het principe, dat er minder sedimentatie plaats vindt in de rest van de krekens, waarschijnlijk werken.

Figuur 12.6: Vergelijking tussen de sedimentatie [ton/jaar, per segment] van het basis en bergende alternatief (voor Noordwaard-tak 2, uitgaande van 1998).



Het effect van een relatief groot bergingsmeer op de verdeling van de sedimentatie over het doorstroomgebied is relatief beperkt (figuur 12.6). Indien echter dagelijkse omstandigheden dominant zijn (vanuit de Biesbosch), dan lijkt een dergelijke maatregel goed te werken.

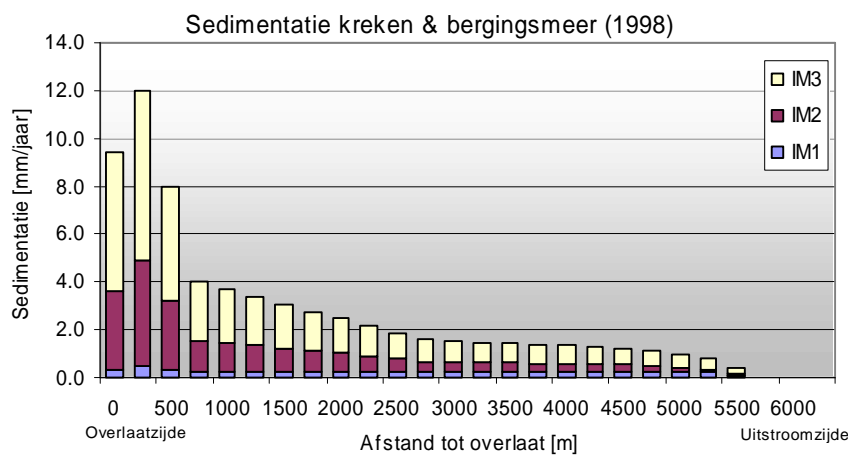
Tabel 12.4: Relatief verschil in totale sedimentatie [ton/jaar] tussen het basis en het bergende alternatief, voor Noordwaard-tak 2 (voor 1998).

Maatregel	Kreken*	Uiterwaard	Totaal
Bergend oppervlak	+100%	-9%	+8%

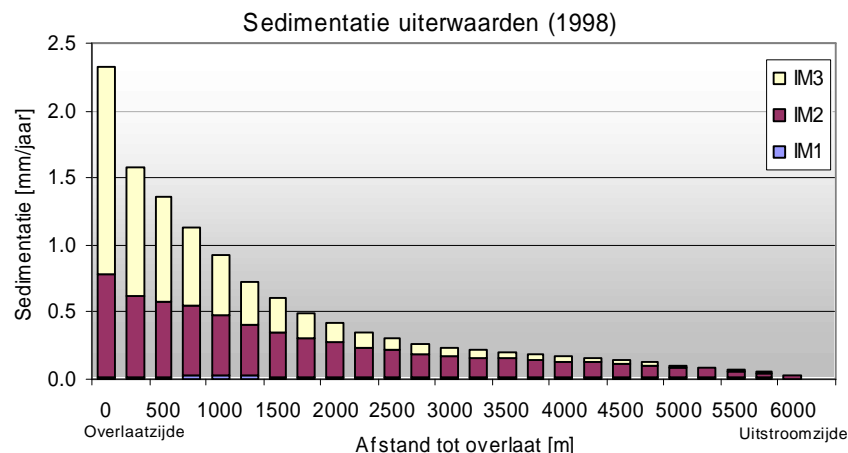
* Kreken en kombergend oppervlak

De sedimentatiehoogte in de kreken en uiterwaarden is groter dan in het basis alternatief, zoals duidelijk wordt uit de figuren 12.7 en 12.8.

Figuur 12.7: Sedimentatie [mm/jaar] in de kreken van Noordwaard-tak 2, voor het bergende alternatief.



Figuur 12.8: Sedimentatie [mm/jaar] in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2, voor het bergende alternatief.



12.3 Duikers

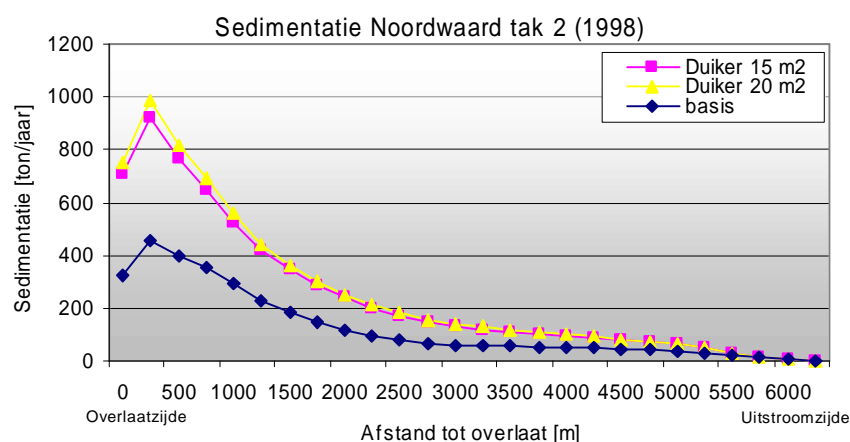
Een andere ontwerpmaatregel, die tevens door De Gelder (2003) is voorgesteld, is het neerleggen van klepduikers onder de bovenstroomse inlaat van een doorstroomgebied. Hierdoor zullen de krekens meer permanent stromen, waardoor een netto afvoer van water gedurende de getij cyclus plaats vindt (de duur van de instroom zal korter zijn dan van de uitstroom). Twee duikers zijn onderzocht, welke op NAP -1,5m onder de overlaat van Noordwaard-tak 2 zijn geplaatst.

Tabel 12.5: Doorstroomd oppervlak van de duikers onder de overlaat van Noordwaard-tak 2.

Maatregel	Dwars oppervlak duiker [m ²]
Duiker I	15
Duiker II	20

In figuur 12.9 wordt de totale sedimentatie in Noordwaard-tak 2 voor het basis ontwerp en de 2 duikers weergegeven.

Figuur 12.9: Sedimentatie [ton/jaar] in Noordwaard-tak 2, voor het basis ontwerp en het ontwerp met de duikers.



De sedimentatie in zowel krekens als uiterwaarden neemt sterk toe als duikers toegepast worden. De oorzaak hiervoor moet gezocht worden in de grote toevoer van sediment vanaf de Nieuwe Merwede. Dit staat niet in verhouding tot het voordeel van de gemiddeld hogere stroomsnelheden.

Tabel 12.6: Relatief verschil in sedimentatie [ton/jaar] tussen het basis ontwerp en het alternatief met duikers, voor Noordwaard-tak 2.

Maatregel	Krekens*	Uiterwaard	Totaal
Duiker I (15m ²)	+430%	+32%	+93%
Duiker II (20m ²)	+446%	+44%	+106%

* Krekens en kombergend oppervlak

De jaarlijkse sedimentatie in de krekens loopt op tot 4 cm/jaar en 0,3 cm/jaar voor de uiterwaarden. De verdeling van de sedimentatie over het doorstroomgebied is vergelijkbaar met de verdeling van de totale sedimentatie in figuur 12.9. De toename van de stroomsnelheden is zeer beperkt (max. 0,1m/s) en zal ook als gekozen wordt voor een kleinere doorsnede van de duikers niet erg interessant zijn voor de ecologie.

Door het aanbrengen van duikers neemt de sedimentatie, in met name de krekens van het doorstroomgebied, sterk toe. De grote sedimenttoevoer door de duikers is hier de oorzaak van.

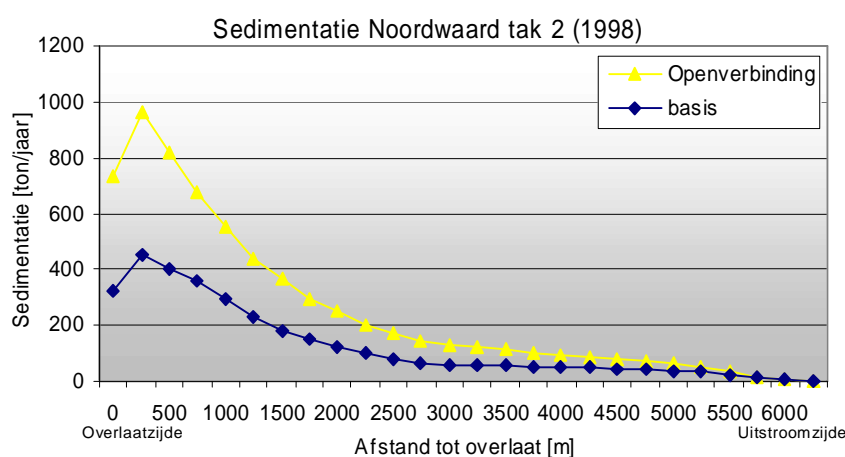
12.4 Open verbinding

Een laatste alternatief, dat met name voor de recreatie in het gebied interessant is, is een open verbinding tussen de krekens van het doorstroomgebied en de Nieuwe Merwede. De overlaat wordt ter plaatse van de opening met bodembescherming bekleed, waarna een gat ontstaat waarachter zich plas-dras land kan ontwikkelen. Hierbij wordt dus geen kanaal, met een evenwichtsverval en kades, achter de inlaat aangelegd, zoals in bijlage C. De belangrijkste dimensies van de verbinding zijn:

Tabel 12.7: Dimensies van de open verbinding.

Parameter	Dimensie
Breedte	8 m
Bodem hoogte onderzijde	NAP -0,5 m

Figuur 12.10: Sedimentatie [ton/jaar] in Noordwaard-tak 2, voor het basis ontwerp en het ontwerp met de open verbinding door de overlaat.



De sedimentatie in de krekens en uiterwaarden bij dit alternatief is vergelijkbaar met de sedimentatie bij de duikers. In tabel 12.8 wordt het verschil in totale sedimentatie voor Noordwaard-tak 2 ten opzichte van het basis alternatief weergegeven.

Tabel 12.8: Relatief verschil in sedimentatie [ton/jaar] tussen het basis ontwerp en het alternatief met de open verbinding, voor Noordwaard-tak 2.

Maatregel	Krekens*	Uiterwaard	Totaal
Bergend oppervlak	+432%	+40%	+101%

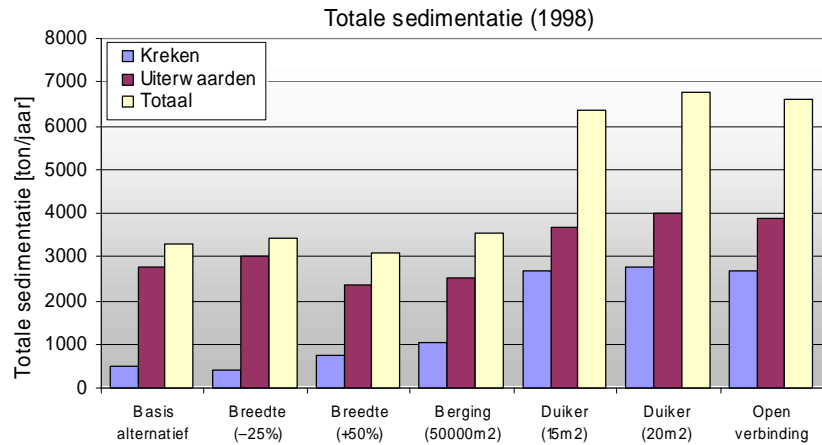
* Krekens en kombergend oppervlak

Het morfologisch effect van een openverbinding is min of meer vergelijkbaar met het effect van duikers.

12.5 Conclusies modelaanpassingen

In dit hoofdstuk is de invloed van verschillende ontwerpmaatregelen op de morfologie van de krekens en uiterwaarden ('hoge gronden') van het doorstroomgebied bepaald. Ten behoeve hiervan is de totale sedimentatie in Noordwaard-tak 2 bepaald voor de verschillende ontwerpmaatregelen (figuur 12.11). Met behulp van dit overzicht kunnen de maatregelen kwalitatief vergeleken worden.

.....
 Figuur 12.11: Totale sedimentatie [ton/jaar] over lengte Noordwaard-tak 2, voor alle ontwerpmaatregelen.

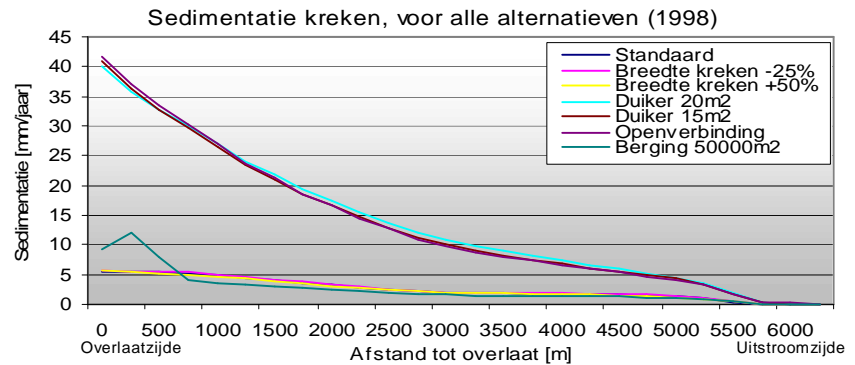


Een eenvoudig kreekstelsel blijkt het gunstigst te zijn voor de morfologie. Bredere kreeken dan het referentieontwerp zorgen voor een snellere afwatering naar de Biesbosch, waardoor minder sediment -dat via de overlaat het doorstroomgebied binnenkomt- bezinkt.

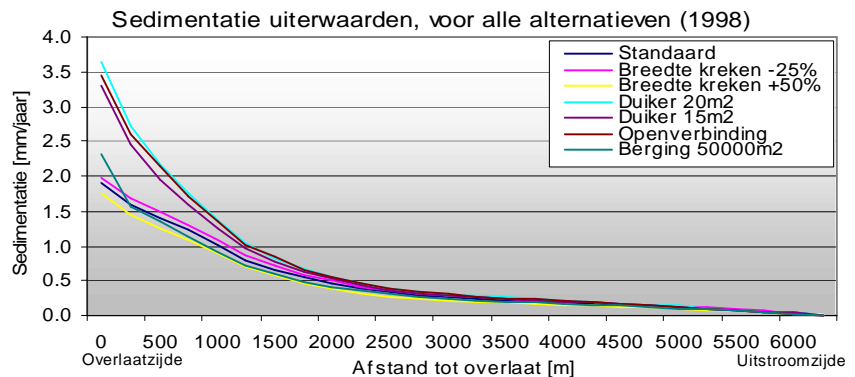
Extra bergend oppervlak aan de noordzijde van het doorstroomgebied zorgt voor een beperkte toename van de sedimentatie in het gebied, waardoor de sedimentatie anders over het gebied verdeeld wordt.

Duikers en open verbindingen blijken voor aanzienlijk meer sedimentatie in het doorstroomgebied te zorgen. De hydraulische consequenties (wat betreft stroomsnelheden) zijn beperkt. Dit is tegenvallend, gezien de verwachtingen dat de stroomsnelheden aanzienlijk zouden toenemen. De sedimentatie (in mm/jaar) over het doorstroomgebied wordt in figuur 12.12 en 12.13 voor alle alternatieven weergegeven.

.....
 Figuur 12.12: Sedimentatie [mm/jaar] in de kreeken van Noordwaard-tak 2, voor alle ontwerpmaatregelen.



.....
 Figuur 12.13: Sedimentatie [mm/jaar] in de uiterwaarden van Noordwaard-tak 2, voor alle ontwerpmaatregelen.



13. Hydraulica

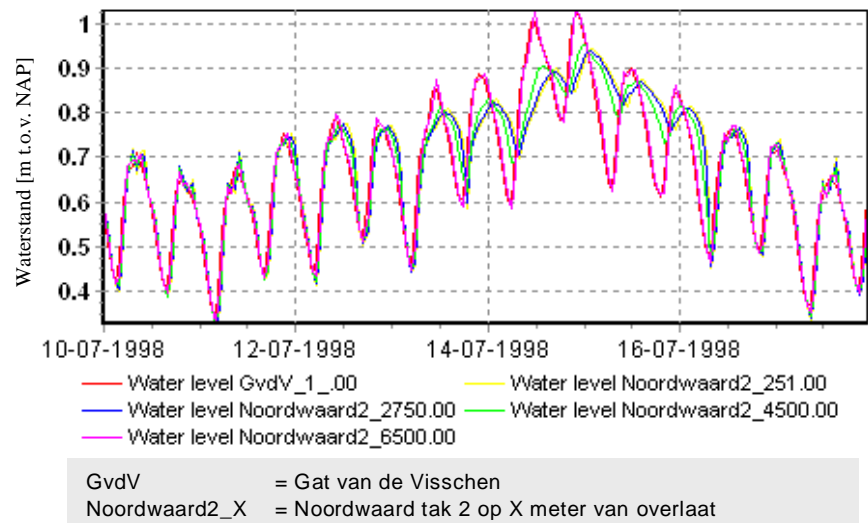
In dit hoofdstuk wordt een indruk gegeven van de hydraulica in het doorstroomgebied. De hydraulica wordt gekenmerkt door de optredende waterstanden (§13.1) en stroomsnelheden (§13.2).

13.1 Waterstanden

13.1.1. Getijdoordringing

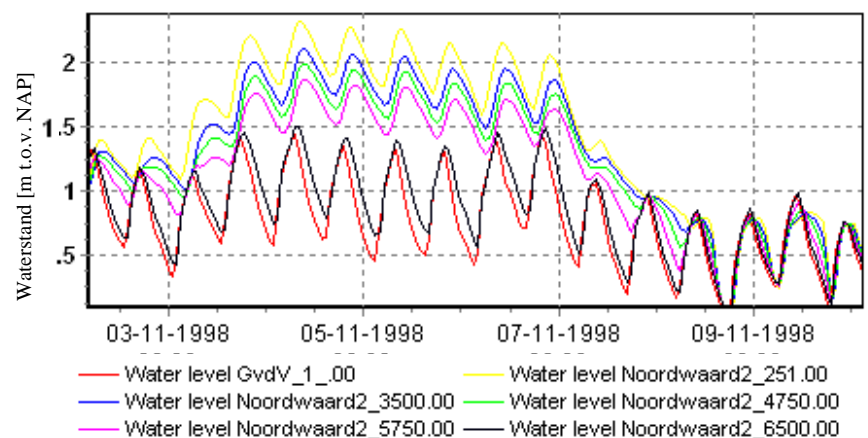
De getijdoordringing in het gebied is onder normale omstandigheden vrij groot. Alleen als de waterstanden net boven maaiveldhoogte (NAP +0,8m) komen, treedt sterke demping op.

Figuur 13.1: Demping van het (schijn) getijde (m t.o.v. NAP) binnen de de kreek van het doorstroomgebied.



Bij een hoogwatergolf, zoals die van begin november 1998 (piekafvoer bij Lobith van $10000\text{m}^3/\text{s}$), zullen de waterstanden in het doorstroomgebied oplopen tot NAP +2,4m (achter de drempel). En tot NAP +1,7m bij de uitstroomopening. Door het stroomgebied van de Noordwaard wordt in dit geval circa $400\text{m}^3/\text{s}$ afgevoerd (respectievelijk circa $120\text{m}^3/\text{s}$, $180\text{m}^3/\text{s}$ en $100\text{m}^3/\text{s}$ voor de drie takken).

Figuur 13.2: Verloop waterstanden (m t.o.v. NAP) binnen het doorstroomgebied van de Noordwaard tijdens een hoogwater op de Rijn.



13.1.2. Inundatie frequentie

Het is tevens interessant om te zien hoe vaak en hoe lang bepaalde waterstanden in het doorstroomgebied van de Noordwaard voorkomen. Om hier een indicatie van te geven is een data analyse gedaan van de waterstanden bij het meetpunt Deeneplaat en Werkendam buiten (Bijlage D). Met behulp van de gegevens kan inzicht verkregen worden over de frequentie waarmee waterstanden zullen voorkomen in het doorstroomgebied van de Noordwaard. Deze data is erg bruikbaar voor situaties waarin de overlaat (aan de Noordzijde) niet overstromt.

Ten eerste is gekeken naar de frequenties waarmee uurwaterstanden een peil overschrijden. In tabel 13.1 wordt hiervan een histogrammisch overzicht gegeven. In figuur 13.3 worden de overschrijdingsfrequentielijnen van de uurwaterstanden weergegeven.

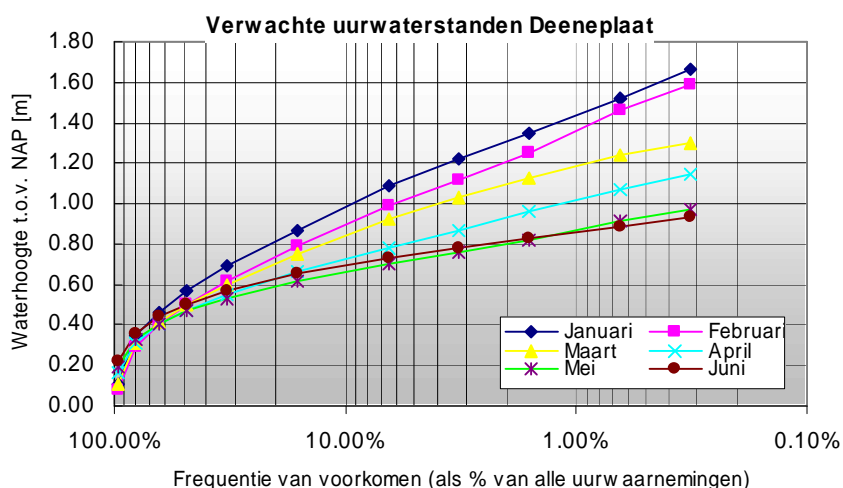
Interpretatie gegevens:

- Tabel 13.1: Gemiddeld aantal uren per maand dat een uurwaterstand een bepaald peil (in meters t.o.v. NAP) overschrijdt.
- Figuur 13.3: Frequentie van voorkomen (horizontaal: % van het aantal uurwaterstanden per maand) van uurwaterstanden die hoger zijn dan een opgegeven peil (verticaal: in meters t.o.v. NAP).

Tabel 13.1: Histogrammisch overzicht van het aantal overschrijdingen van uurwaterstanden op meetpunt Deeneplaat over de periode 1971-2000.

Deeneplaat Overschrijding uurwaterstanden 1971-2000												
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
-0.1	739.87	675.43	740.21	719.97	744.00	720.00	743.97	744.00	719.83	742.30	718.26	741.97
0	734.80	669.34	734.09	719.10	743.76	719.97	743.73	743.87	719.77	736.03	714.29	738.76
0.3	632.89	536.03	607.16	591.65	629.54	643.33	666.45	673.47	641.03	610.37	630.53	649.48
0.4	544.93	436.57	492.37	456.29	476.19	518.86	545.16	547.12	521.23	495.66	548.87	562.23
0.5	432.86	327.62	357.02	301.36	284.41	347.52	361.34	360.16	362.15	357.79	437.97	456.13
0.6	318.11	230.76	235.47	165.17	132.55	173.58	180.65	176.99	204.37	234.77	322.51	344.63
0.7	222.95	156.46	147.89	80.77	44.18	63.74	70.47	62.19	99.08	144.83	220.12	247.38
0.8	154.59	99.99	89.37	38.25	13.52	17.22	22.69	20.22	45.46	84.50	143.57	166.86
1	68.36	39.72	28.33	8.14	1.49	0.94	1.23	2.40	9.80	23.94	52.23	66.54
1.2	26.18	13.46	6.59	1.40	0.00	0.03	0.13	0.00	2.70	6.94	16.92	23.35
1.6	3.23	1.93	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.47	1.10

Figuur 13.3: Overschrijdingsfrequentielijn van uurwaterstanden bij het meetpunt Deeneplaat



Gezien het feit dat niet alleen het gemiddeld aantal uren inundatie interessant is, maar ook de verdeling over de dagen van de maand, zijn ook de dagmaximum waterstanden op het meetpunt Deeneplaat geanalyseerd. Op deze manier wordt tevens een indruk verkregen van het aantal gebeurtenissen, waarbij een peil wordt overschreden.

Interpretatie gegevens:

Tabel 13.2: Gemiddeld aantal dagen per maand dat een dagmaximum waterstand een bepaald peil (in meters t.o.v. NAP) overschrijdt. (meerdere overschrijdingen op dezelfde dag worden als 1 dag aangemerkt)

Tabel 13.2: Histogramfisch overzicht van de dagmaximum waterstanden op meetpunt Deeneplaat over de periode 1971-2000.

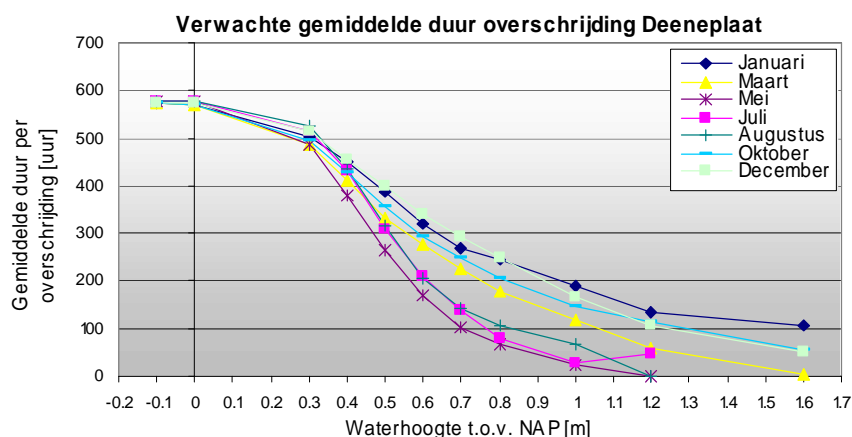
Deeneplaat Overschrijding dagmaxima 1971-2000												
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
-0.1	31.00	28.25	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
0	30.97	28.22	30.93	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	29.97	30.97
0.3	30.17	27.62	29.93	29.93	30.97	30.00	31.00	30.83	29.97	29.57	29.40	30.40
0.4	28.90	25.68	28.87	28.83	29.98	29.77	30.33	30.20	29.00	27.90	28.37	29.70
0.5	26.87	22.75	25.67	26.07	25.92	27.56	28.07	27.40	25.77	24.07	26.50	27.30
0.6	23.97	18.36	20.43	20.00	18.58	21.10	20.73	20.47	19.80	19.23	22.93	24.27
0.7	19.77	14.89	15.80	12.43	10.15	12.04	12.27	10.43	12.27	14.03	17.97	20.40
0.8	15.20	11.66	12.10	7.03	4.77	5.95	6.73	4.47	6.40	9.90	14.03	16.17
1	8.63	6.20	5.70	2.93	1.46	1.34	1.00	0.87	1.77	3.97	7.17	9.53
1.2	4.73	2.83	2.70	0.63	0.37	0.17	0.07	0.07	0.43	1.47	3.20	5.17
1.6	0.73	0.80	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.27	0.60	0.53

Met behulp van de uurwaterstanden en de dagmaximum waterstanden kan voor elk peil een inschatting gegeven worden van de gemiddelde duur van een overschrijding.

Interpretatie: (De waarde in de tabel bij een waterstand kan worden omschreven als)

Figuur 13.4: Geschatte gemiddelde duur (verticaal: in uren) per overschrijding van een bepaald peil (horizontaal: in meters t.o.v. NAP).

Figuur 13.4: Geschatte gemiddelde duur van een overschrijding van een kritische waterstand.



Uitgangspunt van bovenstaande methode is dat de dagmaximum waterstand als één enkele gebeurtenis (overschrijding per dag) wordt

gezien. In een aantal gevallen zal de dagmaximum waterstand echter de hoogste zijn van twee dagelijkse maxima, waardoor het dagmaximum eigenlijk twee gebeurtenissen omvat. De gegeven duur vormt in bepaalde gevallen een bovengrens. Dit bezwaar geldt met name voor de gemiddelde overschrijdingsduren, in figuur 13.4, die lager zijn dan 3 uur. Aangezien een gemiddelde inundatie door het getij een dergelijke duur kent.

In het volgende voorbeeld wordt verduidelijkt hoe met de informatie in de tabellen en figuren omgegaan kan worden.

Voorbeeld waterstanden in het doorstroomgebied.

Stel er is interesse in het volgende:

- Hoe vaak overstroomt landbouwgrond in het doorstroomgebied in de maand Oktober van een gemiddeld jaar (Ligging NAP +0,7 meter).

In tabel 13.1 valt te zien dat een uurwaterstand die NAP +0,7 meter overschrijdt gemiddeld 145 keer voorkomt in de maand oktober.

Het is echter interessanter voor de agrariër om te zien hoeveel dagen van de maand oktober deze waterstand (ook al is het maar één uur) overschreden wordt. In tabel 13.1 is te zien dat dit gemiddeld 14 dagen het geval is.

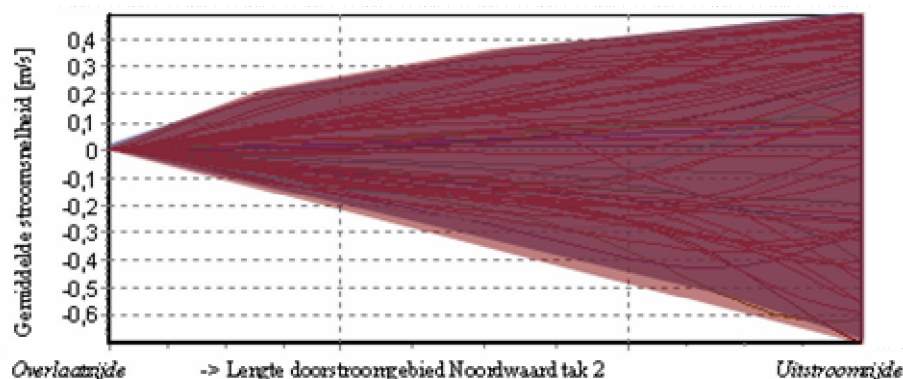
De vraag kan ook gesteld worden hoe lang nu een inundatie duurt. Stel dat er 18 dagen voor kortere of langere tijd een inundatie is, dan mag verwacht worden dat het aantal uur gedeeld door het aantal dagen de duur van de inundatie weerspiegelt. In dit geval betekent dat een duur van ≈ 10 uur/gebeurtenis ($=145$ uur/14 dagen), zie figuur 13.4.

13.2 Stroomsnelheden

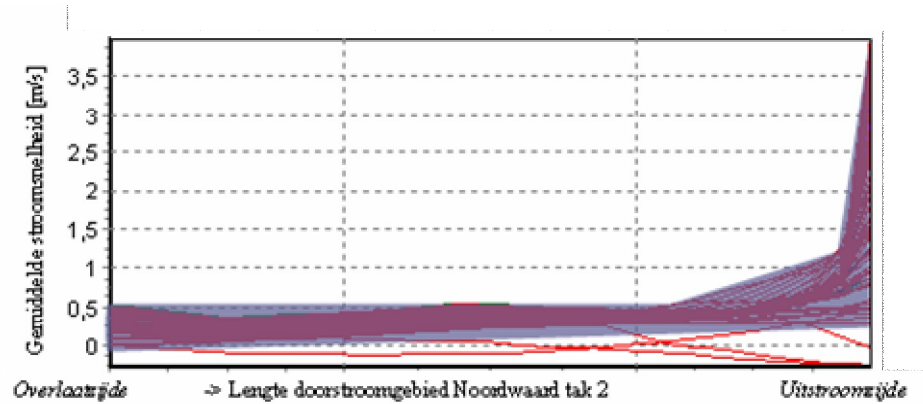
13.2.1. Stroomsnelheden doorstroomgebied

De stroomsnelheden binnen de Noordwaard variëren over de lengte van de kreek. In de volgende figuren wordt het verloop van de stroomsnelheden over de lengte van Noordwaard-tak 2 op een groot aantal tijdstippen weergegeven. Het 'spinnenweb' dat zich zodoende vormt geeft een indicatie van de variatie in stroomsnelheden over de lengte van het doorstroomgebied. Voor normale omstandigheden is dit in figuur 13.5 weergegeven. Voor extreme omstandigheden, waarbij de overlaat de polder inundeert, is dit in figuur 13.6 weergegeven.

Figuur 13.5: Variatie in stroomsnelheden (m/s) in de kreek van het doorstroomgebied onder 'normale' omstandigheden.



Figuur 13.6: Variatie in stroomsnelheden (m/s) in de kreek van het doorstroomgebied bij doorstroming van de polder (circa 500m³/s).



Wat opvalt is dat de stroomsnelheden aan de uitstroomzijde van de polder toenemen, waardoor rekening gehouden moet worden met erosie in dit deel.

13.2.2. Stroomsnelheden open verbinding

Een ander hydraulisch aspect dat aandacht verdient zijn de stroomsnelheden in een open verbinding. Met behulp van debieten en waterstanden onder normale omstandigheden, is bepaald dat de stroomsnelheden in de opening variëren tussen de 0,5 en 2m/s, dit geldt voor de modelberekeningen voor een opening zonder kades in het doorstroomgebied.

14. Ontwerpaanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de aanbevelingen met betrekking tot het ontwerp van de Noordwaard. Allereerst worden de resultaten van het morfologisch onderzoek voor de modelaanpassingen (hfst.12) beschreven (§14.1). Deze worden getoetst op een aantal criteria (§14.2), waarna aanbevelingen worden gedaan omtrent een, vanuit morfologisch, ecologisch en hydraulisch oogpunt bezien, interessant ontwerp (§14.3).

14.1 Toetsing ontwerpaanpassingen

In deze paragraaf wordt kort een indruk gegeven van de in hoofdstuk 12 uitgewerkte ontwerpaanpassingen (§14.1.1). Deze bevindingen zijn tevens vergeleken met de verwachte effecten (Hfst.6). De varianten worden vervolgens beoordeeld op de criteria functionaliteit, beheer, ecologie en haalbaarheid (§14.1.2), welke ook in hoofdstuk 6 zijn toegepast.

14.1.1. Bevindingen varianten

De resultaten uit hoofdstuk 12 worden hier per variant beschreven.

Variatie in breedte kreek

De invloed van een variatie in de breedte van een kreek op de morfologie is minder groot dan verwacht (figuur 12.2 en 12.3). Een verbrede kreek is morfologisch echter wel iets interessanter dan een versmalde kreek, de sedimentatie in de kreekbedding neemt toe en in de uiterwaarden af. Netto is bij verbreding sprake van een afname van de sedimentatie in het doorstroomgebied. Dit komt door de verbeterde afvoer van water uit het gebied, waardoor ook het sediment sneller wordt afgevoerd. Een smallere kreek heeft als (ecologisch) voordeel dat de stroomsnelheden relatief hoog zijn. Een bredere kreek verdient ecologisch echter toch de voorkeur, omdat deze meer ruimte biedt voor een geleidelijk verlopende land-water overgang (flauwere taluds).

Vergroting bergend oppervlak door meertjes

Een vergroting van het bergend oppervlak achter de overlaat zorgt voor (de verwachte) versterkte sedimentatie in de bergende kom (aan de Noordzijde van het gebied) en een lichte afname in de kreek (figuur 12.6). De totale sedimentatie en de daarmee samenhangende beheerskosten nemen toe. Hier staat tegenover dat de sedimentatie voor een deel verschoven wordt naar de bergende kom, waardoor het eenvoudiger weggebaggerd kan worden. Dit effect is echter minder groot dan werd verwacht (tabel 6.5), waardoor de variant licht negatief scoort op morfologie. De grotere stroomsnelheden en getijdoordringing in de kreek zijn ecologisch interessant. Ook de recreatie kan baat hebben bij een meertje. De initiële kosten zullen waarschijnlijk beperkt zijn, omdat de afgegraven grond verkocht kan worden.

Duikers door overlaat

Het plaatsen van duikers door de overlaat blijkt aanzienlijk meer sedimentatie in het doorstroomgebied te veroorzaken dan verwacht werd in hoofdstuk 6 (figuur 12.9). Dit wordt veroorzaakt doordat de Nieuwe Merwede relatief slibrijk water aanvoert. Het positieve effect van de permanente doorstroming weegt hier niet tegen op. De hydraulische consequenties (wat betreft stroomsnelheden) zijn beperkter dan verwacht, waardoor de maatregelen qua ecologie niet beter scoren. Qua kosten dient verder nagedacht te worden over bodembeschermende maatregelen rond de duikers, en het onderhoud van de duikers.

Open verbinding

De morfologische effecten van een open verbinding tussen de kreken voor en achter de overlaat zijn vergelijkbaar met de effecten bij het aanbrengen van duikers (figuur 12.10). Bij dit modelmatig onderzoek naar de morfologische consequenties is echter uitgegaan van een gat in de overlaat zonder kades aan de benedenstroomse zijde. Het creëren van kades over voldoende lengte zou de toevoer van sediment kunnen verminderen (bijlage C). De recreatieve functie van een open verbinding zou dan kunnen opwegen tegen de morfologische aspecten (beheerskosten).

Er zijn een aantal ontwerpaspecten aan een open verbinding die niet eenvoudig te realiseren of in te schatten zijn, zoals:

- De invloed van variatie in de toestroom van sediment op de morfologie van het open verbindingskanaal;
- Constructieve haalbaarheid van de maatregel, met betrekking tot de erosie van de instroomopening;
- De beheerskosten van een dergelijke maatregel.

Het verdient aanbeveling deze aspecten goed te onderzoeken, alvorens de maatregel toe te passen.

14.1.2. Beoordeling

Elk van de maatregelen kan beoordeeld worden op een aantal criteria, die bepaald worden door verschillende functies. Een overzicht van de criteria wordt weergegeven in tabel 14.1:

Tabel 14.1: Criteria beoordeling.

Criteria	Functies	Processen
► Functionaliteit	○ Recreatie	
► Beheer	○ Landbouw	
	○ Morfologie	▪ Sedimentatie ▪ Stabiliteit (erosie)
► Ecologie	○ Onderhoud vegetatie	
	○ Hydraulica	▪ Getijdoordringing ▪ Inundatiefrequentie ▪ Stroomsnelheden
	○ Ruimte	▪ Oppervlakte v.d. kreken ▪ Taluds

Tabel 14.2 geeft de beoordeling van de ontwerpvarianten op bovenstaande criteria weer. Deze beoordeling kan daarna afgewogen worden tegen de kosten en uitvoeringsaspecten van de varianten.

Tabel 14.2: Beoordeling effecten.

Beoordeling effecten	Functionaliteit		Beheer		Ecologie		Haalbaarheid	
	Recreatie	Landbouw	Morfologie	Onderhoud	Hydraulische dynamiek	Ruimtelijke kwaliteit	Uitvoering	Initiële Kosten
Breedte kreken (-25%)	○	-	-	○	+	○	+	○
Breedte kreken (+50%)	○	+	+	○	+	+	+	○
Berging 50000m ²	+	○	-	○	+	+	○	○
Duikers	○	--	--	-	○	○	-	-
Open verbinding	++	--	--	-	○	○	--	--

Score:	○	Vergelijkbaar met referentie
	+/-	Licht positief/negatief effect
	++/-	Significant positief/negatief effect
	+++/-	Sterk positief/negatief effect

14.2 Ontwerpaanbevelingen

De beoordeling van de varianten in de algemene analyse (Hfst.6) en de detail studie (§14.1) wordt in deze paragraaf samengevoegd tot een aantal ontwerpaanbevelingen. Deze aanbevelingen hebben betrekking op verschillende aspecten van het ontwerp van kreken.

Type oplossingsvariant

Als gestreefd wordt naar een ontwerp met zo beperkt mogelijke morfologische consequenties voor het doorstroomgebied, dan verdient een krekensysteem met rechte (of licht meanderende) kreken tot aan de overlaat de voorkeur. De kreken dienen iets breder te zijn dan het referentieontwerp, waardoor water en sediment sneller afgevoerd worden naar de Biesbosch. De relatieve ongevoeligheid van de morfologie voor de breedte van de kreken, biedt echter ruimte voor variatie in het ontwerp. Ecologisch is het interessant de breedte van de kreken licht te variëren over de lengte van de kreek, bijvoorbeeld een breedte tussen de 12m en 25m.

Eventueel kan gekozen worden voor extra bergend oppervlak aan de noordzijde van het doorstroomgebied, waardoor de sedimentatie anders over het gebied verdeeld wordt. De totale sedimentatie is dan iets groter maar is in de bergende kom eenvoudiger weg te baggeren.

Het toepassen van duikers en open verbindingen wordt afgeraden vanwege de aanzienlijk grotere sedimentatie in het doorstroomgebied.

Dwarsprofiel

Het profiel van de kreken is bepaald aan de hand van voorkeuren uit hoofdstuk 5. Het talud rond de waterlijn is flauw terwijl het talud in het diepere deel van het water steiler is (figuur 14.1).

Figuur 14.1: Dwarsprofiel kreek met flauwe taluds ter hoogte van de waterlijn.



Aantal krekten

Met het aantal krekten kan gevarieerd worden, maar in dit onderzoek is daarvan afgezien omdat het onderzoek anders zeer complex wordt. Tevens heeft de overweging dat het ontwerp aan moet sluiten bij de historische situatie de keuze voor drie krekten bepaald.

Het effect op de morfologie van een individuele kreek, bij een vergroting van het aantal krekten (bijv. 3 naar 4), is waarschijnlijk vergelijkbaar met het morfologische effect bij verbreding van bestaande krekten (bij een verbreding van +33%). De verhouding tussen de kreekbreedte en de breedte van het doorstroomgebied is in beide gevallen immers gelijk.

Overzicht

In tabel 14.3 worden de ontwerpaanbevelingen weergegeven, waarbij een evenwicht is gezocht tussen de ecologische, morfologische en recreatieve functies.

Tabel 14.3: Overzicht aanbeveling kreek ontwerp.

Overzicht ontwerpaanbevelingen	
► Loop	<p>Licht meanderend</p> <p>Eenvoudige krekten tot aan de overlaat</p> <p>Lichte variatie in het dwarsprofiel over de lengte van de kreek</p>
► Dwarsprofiel	<p>Relatief smalle kreek</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 15-20 meter breed op NAP ○ Oppervlak van 40-60m² (beneden NAP +0,8m) ○ Flauwe taluds rond waterlijn ○ Relatief steile taluds onder water
► Overig	<p>Drie krekten</p> <p>Geen aansluitingen op de Nieuwe Merwede</p>

14.3 Algemene inrichting doorstroomgebieden

Indien uitgegaan wordt van een willekeurig doorstroomgebied dan dienen de eigenschappen van dit gebied vastgesteld te worden, alvorens richtlijnen voor de inrichting van het krektenstelsel gegeven kunnen worden.

14.3.1. Karakterisering doorstroomgebied

Onderscheid wordt gemaakt tussen twee soorten gebieden, namelijk de hoogwatergedomineerde en door dagelijkse omstandigheden gedomineerde doorstroomgebieden. In het eerste geval is de bovenstroomse rand en in het tweede de benedenstroomse rand dominant voor de morfologie van het gebied. De volgende parameters blijken hiervoor bepalend te zijn:

-
- Hydraulische omstandigheden bovenstrooms (A);
 - Overschrijdingsduur waterstanden;
 - Hoogte overlaat.
 - Hydraulische omstandigheden benedenstrooms (B);
 - Getijde invloed.
 - Sedimentgehalte toegevoerd water (C).

Hydraulische omstandigheden bovenstrooms

Het interessegebied in dit rapport (de Noordwaard) kent een morfologie die jaarlijks sterk kan variëren. Dit komt grotendeels door de jaarlijks verschillende hydraulische omstandigheden. In sommige jaren komen enkele dagen voor met hoge afvoeren (zoals 1998), waarbij de overlaat water toelaat tot het gebied, deze jaren zijn hoogwater gedomineerd. Over een langere periode is niet elk jaar hoogwater gedomineerd, als echter een jaar met één of enkele hoogwaters voorkomt dan gebeurt er morfologisch veel meer dan in de door dagelijkse omstandigheden gedomineerde jaren (figuur 10.12).

Een bovenstrooms beïnvloed gebied is een gebied waarbij:

- Periodes met inundatie van de overlaat een veel groter morfologisch effect hebben dan (langere) periodes zonder inundatie.

De hoogte van de overlaat speelt hierin natuurlijk een grote rol. Een hogere inlaat belemmert de toestroom van sediment tot de polder in hoge mate. Dit blijkt onder andere als gekeken wordt naar het verschil in sedimentatie voor de Noordwaard, circa 2-6 mm/jaar, en de Gamerensche- (Jans et al., 2004) en Kievitswaard (Doomen, 2003), waar op jaarbasis circa 5cm sedimenteert. Deze hogere sedimentatie wordt voor een groot deel veroorzaakt door sedimentatie van zand, dat door bodemtransport wordt aangevoerd. Een hogere overlaat sluit dit bodemtransport echter uit, waardoor alleen suspensief transport invloed heeft op de morfologie van het achterliggende gebied. Bij een hogere overlaat zullen tevens de jaarlijkse verschillen in morfologie, tussen jaren waarin de overlaat wel of niet overstroomt, groter zijn.

Een hogere overlaat resulteert in:

- Verminderde sedimentatie van het gebied achter de overlaat;
- Een groter jaarlijks verschil in de morfologie van het doorstroomgebied;
- Een licht verkleinde bovenstroomse invloed.
- Mogelijk in het uitsluiten van bodemtransport, wat een grote invloed heeft op de morfologie van het gebied.

Hydraulische omstandigheden benedenstrooms

De morfologie onder dagelijkse omstandigheden is afhankelijk van het getijprisma dat de polder binnenstroomt, met het instromende water wordt immers sediment aangevoerd. Gesteld kan dus worden dat de toevoer van sediment in hoge mate afhankelijk is van het verticaal getij, aangezien het verticaal getij bepalend is voor het getijprisma.

De invloed van het verticale getij is bepalend voor de morfologie tijdens dagelijkse omstandigheden.

Sedimentgehalte

De verhouding tussen het sedimentgehalte van het water aan de bovenstroomse en aan de benedenstroomse zijde heeft ook een sterke invloed op de morfologie. Over het algemeen zal de sedimentconcentratie benedenstrooms immers lager zijn dan bovenstrooms.

Bepalend hiervoor is tevens de afstand van het doorstroomgebied tot de sedimentbron. Dit geldt met name voor de afstand van het doorstroomgebied tot de benedenstroomse sedimentbron. Het is mogelijk dat de geulen op dit traject nog geen morfologisch evenwicht bereikt hebben, waardoor een deel van het sediment hier bezinkt.

De toevoer van sediment is afhankelijk van de afstand tot de sedimentbron. Bij benedenstroomse aanvoer van het sediment zal altijd een deel van dit sediment in het voortraject bezinken.

Algemeen

Er worden nu acht typen doorstroomgebieden onderscheiden, die alle een andere inrichting van het krekensysteem vragen. Deze acht typen worden onderscheiden op de benoemde kenmerken:

- Mate van inundatie van de bovenstroomse overlaat (A*);
- Getij invloed benedenstrooms (B*);
- Verhouding sedimentgehalte water benedenstrooms en bovenstrooms (C*).

Voor elke combinatie van kan beredeneerd worden of de dagelijkse of hoogwater invloed maatgevend zijn voor de morfologie (tabel 14.4).

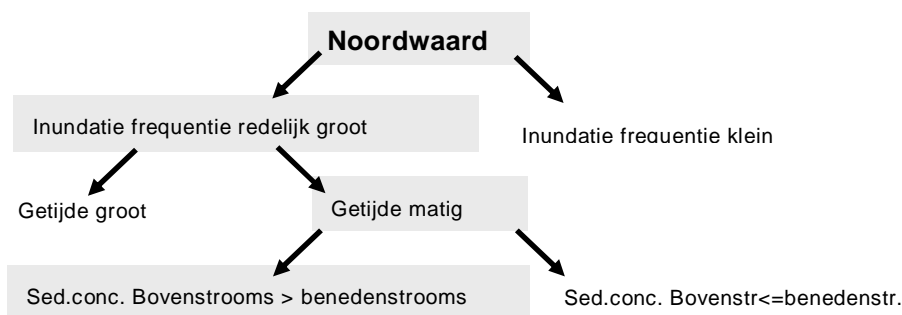
Tabel 14.4: Overzicht dominante invloed van hoogwater of dagelijkse omstandigheden voor combinaties van invloedsfactoren.

	Frequentie inundatie overlaat laag		Frequentie inundatie overlaat hoog	
	$C_{SED} \text{ Boven} \leq \text{Beneden}$	$C_{SED} \text{ Boven} > \text{Beneden}$	$C_{SED} \text{ Boven} \leq \text{Beneden}$	$C_{SED} \text{ Boven} > \text{Beneden}$
Verticaal getij klein	Dagelijkse invloed	Hoogwater invloed	Hoogwater invloed	Sterke Hoogwater invloed
Verticaal getij groot	Sterke Dagelijkse invloed	Dagelijkse invloed	Dagelijkse invloed	Hoogwater invloed

* Noordwaard ligt tussen de volgende twee in

Er zijn twee evidente gevallen (linksonder en rechtsboven in tabel 14.4), waarbij sprake is van een grote dominantie van de dagelijkse of hoogwater omstandigheden. Bij de zes andere situaties is sprake van een combinatie van invloeden, waarbij telkens één situatie licht dominant is. In figuur 14.2 wordt dit voor de Noordwaard verduidelijkt.

Figuur 14.2: Karakterisering doorstroomgebied Noordwaard.



14.3.2. Inrichting doorstroomgebied

Er zijn een aantal inrichtingsmaatregelen die morfologisch interessant zijn voor het doorstroomgebied. Deze invloed is echter afhankelijk van het karakter van het doorstroomgebied (§14.3.1). Er gaat over het algemeen voorkeur uit naar één van de volgende maatregelen:

- Verbrede of versmalde kreken;
- Bergend oppervlak aan uiteinde kreek (zandvang achter overlaat);
- Duikers.

Verbrede of versmalde kreken

Een versmalling van een kreek zorgt over het algemeen voor grotere stroomsnelheden, waardoor minder sediment kan bezinken. Indien echter sprake is van een aanzienlijke toevoer van sedimentrijk water vanaf de bovenstroomse overlaat, dan verdient het de voorkeur de kreken relatief breed te houden. Het sedimentrijke water wordt dan zo snel mogelijk afgevoerd (wat blijkt uit de analyses in hoofdstuk 12).

Bergend oppervlak aan uiteinde kreek / zandvang overlaat

In sommige gevallen kan de sedimentatie beperkt of beter beheersbaar worden door het aanleggen van een meer achter de overlaat, waarin de kreken uitlopen. De gemiddelde stroomsnelheden over de lengte van de kreken zullen groter worden (hfst.6). Bij een hoge toevoer van sediment vanaf de overlaat kan het meer als zandvang dienen. Minder wenselijk is deze maatregel als het sedimentgehalte of het verticaal getij benedenstrooms erg hoog is, waardoor het getijprisma (en de sediment toevoer) toeneemt (hfst.12).

Duikers

Duikers kunnen gebruikt worden om een netto doorstroming van de kreken in het gebied te creëren, waardoor een netto afvoer van sediment in benedenstroomse richting optreedt (hfst.6). Door de regelmatigere én verhoogde afvoer zal tevens minder sediment bezinken dan in een situatie zonder duiker. Een duiker is aantrekkelijk zolang niet teveel sediment het doorstroomgebied ingevoerd wordt (hfst.12). Dit is het geval als de sediment concentratie bovenstrooms niet groter is dan de concentratie benedenstrooms. Een duiker verdient morfologisch gezien aanbeveling boven een open verbinding, daar de afvoer bij een duiker veel constanter is dan bij een open verbinding.

In tabel 14.5 worden de aanbevolen inrichtingsmaatregelen voor de kreken onder de verschillende omstandigheden benoemd (Bijlage I).

Tabel 14.5: Overzicht aanbevolen inrichtingsmaatregelen voor kreken in de 'typen' doorstroomgebieden.

	Frequentie bovenstroomse inundatie laag		Frequentie bovenstroomse inundatie hoog	
	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden
Verticaal getij Klein	Smalle kreken en/of Duikers	Smalle kreken en/of Bergend oppervlak*	Smalle kreken en/of Duikers	Brede kreken of een Zandvang*
Verticaal getij groot	Smalle kreken en/of Duikers	Smalle kreken	Smalle kreken en/of Duikers	Brede kreken of een Zandvang*

* De termen 'bergend oppervlak' en 'zandvang' behelzen dezelfde maatregel, maar leggen de nadruk op de twee verschillende functies.

15. Conclusies

In dit hoofdstuk worden de conclusies uit het rapport uiteengezet (§15.1). De resultaten van het onderzoek en de gebruikte methoden worden in paragraaf 15.2 bediscussieerd. Aan de hand hiervan worden aanbevelingen gedaan voor aanvullend onderzoek (§15.3).

15.1 Conclusies

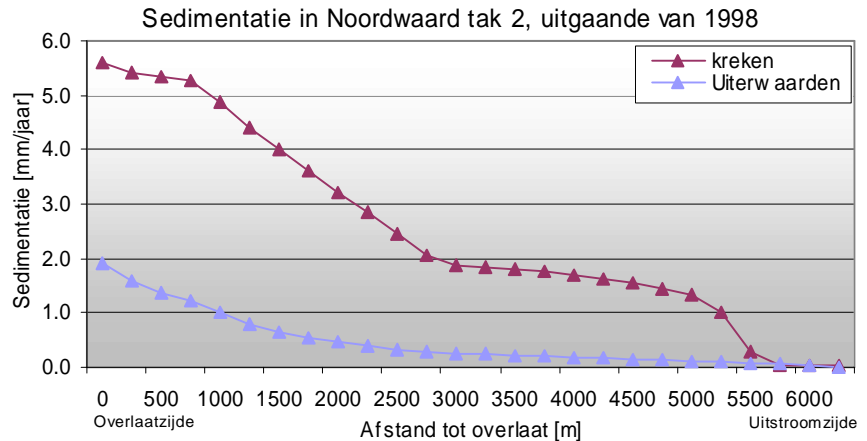
De conclusies worden onderverdeeld in drie categorieën, namelijk morfologie, hydraulica en ontwerp. De eerste twee categorieën geven een indicatie van de morfologische en hydraulische gevolgen van een ingreep als de Noordwaard. De tweede categorie geeft richtlijnen omtrent de inrichting van het doorstroomgebied.

15.1.1. Morfologie

De morfologie van de Noordwaard zal in de voorgestelde maatregelen (PKB ruimte voor de rivier deel I, 2005) grondig wijzigen. In het gebied zal op de meeste plaatsen sprake zijn van lichte sedimentatie (hoofdstuk 10), enkel bij de uitstroomopeningen kan gedurende hoogwateromstandigheden sprake zijn van erosie. In figuur 15.1 wordt de geschatte sedimentatie voor het doorstroomgebied weergegeven, als uitgegaan wordt van het historisch jaar 1998.

Figuur 15.1: Sedimentatie [mm/jaar] in de kreken en uiterwaarden (van Noordwaard-tak 2), voor het pilot jaar 1998.

- De niet-permanent doorstroomde (hoge) delen van het doorstroomgebied worden als uiterwaard aangeduid.
- Noordwaard-tak 2 wordt representatief verondersteld voor het hele gebied.



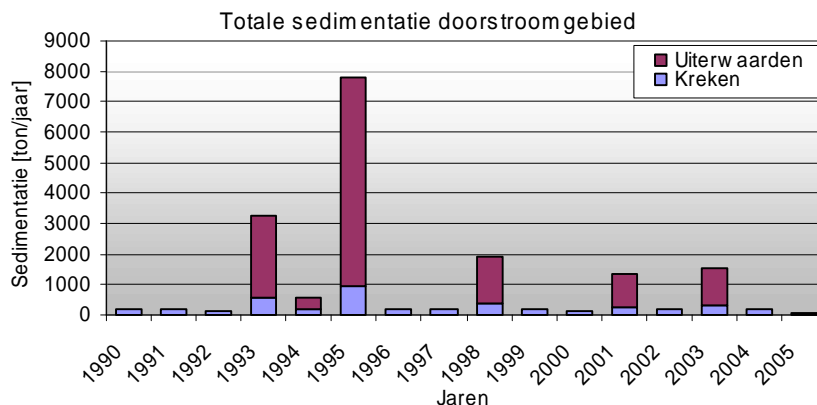
Eenzelfde analyse is uitgevoerd middels een probabilistische analyse voor een statistisch jaar én voor 1998. Hieruit komt naar voren dat de sedimentatie in een statistisch jaar aanzienlijk lager is dan in het pilotjaar 1998. Ook voor 1998 blijkt er een groot verschil te zijn. Dit verschil wordt veroorzaakt door de volgende model gerelateerde aspecten*:

- Tijdsafhankelijke effecten;
- Invloed van de Maas, die zich niet 1 op 1 met de Rijn gedraagt;
- Invloed zeewaterstanden.

(* zie ook §15.2)

De invloed van de jaarlijkse variatie in de afvoeren op de morfologie is onderzocht door op probabilistische wijze randvoorwaarden samen te stellen. Hieruit blijkt dat er een zeer grote spreiding bestaat in de sedimentatie voor verschillende jaren (figuur 15.2).

.....
 Figuur 15.2: Totale sedimentatie [ton/jaar] in het doorstroomgebied van de Noordwaard, voor verschillende jaren.



Uit de gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 11) komt naar voren dat de variatie in de sedimentatie door zwevend stof procesparameters vrij beperkt is. Andere aspecten als geografie en randvoorwaarden spelen een veel grotere rol. Om de onzekerheden in de morfologie voor het jaar 1998 te kunnen schatten, zijn de geschatte parameter-onzekerheden vertaald naar onzekerheden in de totale modeluitkomsten.

.....
 Tabel 15.1: Doorwerking parameter onzekerheden naar onzekerheden in de morfologie.

	Parameter onzekerheid	Uitkomst onzekerheid	
		Ondergrens	Bovengrens
V_{sediment}	10%	-3%	+2%
τ_{kritisch}	10%	-2%	+0,5%
Afvoer r.v.w.*	1%	-10%	+10%
Zwevend stof r.v.w.*	25%	-5%	+5%
Geometrie (tak 1&2)	-	-45%	+5%

* betreft niet de jaarlijkse onzekerheid in afvoeren, maar de onzekerheid in de voor 1998 beschikbare meetdata.

Duidelijk is dat het gevoeligheidsonderzoek meer neigt naar een lagere uitkomst dan naar een hogere. Aangenomen wordt dat de berekende sedimentatie met de historische methode, voor Noordwaard-tak 2, een bovengrens vormt voor de te verwachten morfologische effecten, en daarmee een conservatieve benadering.

De onzekerheden in de morfologie worden bepaald door verschillende aspecten. De belangrijkste aspecten zijn:

- Jaarlijkse verschillen in afvoer;
- Geografische verschillen (lengte, breedte, hoogte overlaat).

15.1.2. Hydraulica

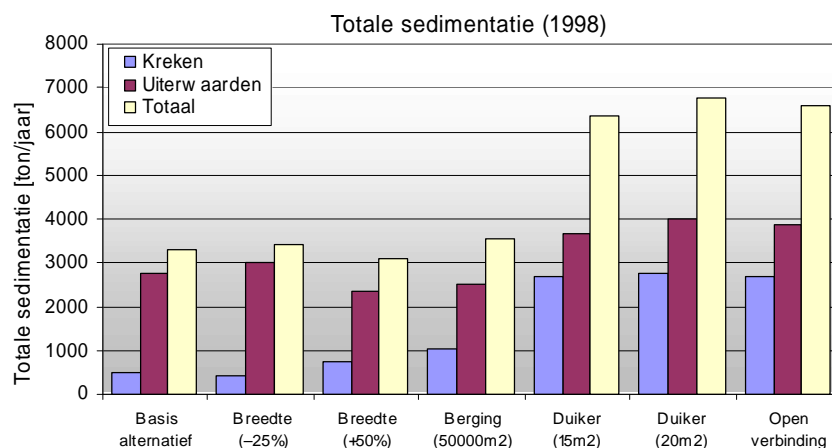
Uit de analyses komt naar voren dat rond de waterstand van NAP +0,8 meter enige demping van de getijdoordringing op zal treden. Als de waterstanden hoger of lager zijn dan deze waarde is echter sprake van een behoorlijke doordringing van het getij. De stroomsnelheden in het

gebied blijken onder maatgevende condities van dusdanig aard dat erosie kan optreden bij de zuidelijke uitstroomopeningen.

15.1.3. Inrichting kreken

Uit de algemene analyse (hfst.6) met betrekking tot de effecten van verschillende ontwerpmaatregelen blijkt dat een meanderend verloop van kreken het best past in de omgeving en tevens een ecologisch en morfologisch aantrekkelijke optie is. Andere opties als duikers en verbreding of versmalling van het dwarsprofiel verdienen gedetailleerde aandacht. In hoofdstuk 12 is de totale sedimentatie (in Noordwaard-tak 2) voor deze ontwerpvarianten bepaald.

.....
Figuur 15.3: Vergelijking totale sedimentatie [ton/jaar] in detailstudie, over de lengte van Noordwaard-tak 2, voor alle ontwerpmaatregelen.



Een kwalitatieve vergelijking tussen de maatregelen geeft aan dat een eenvoudig krekensysteem, met niet al te smalle kreken, vanuit de morfologie de voorkeur verdient (uitgaande van de hydraulische omstandigheden in 1998). Bredere kreken zorgen voor een snellere afwatering naar de Biesbosch, waardoor sediment dat via de overlaat het doorstroomgebied binnenkomt sneller wordt afgevoerd.

Met behulp van extra bergend oppervlak aan de noordzijde van het doorstroomgebied is het mogelijk de sedimentatie anders over het gebied te verdelen, waardoor het eenvoudiger weg te baggeren is. Nadelig is echter dat de totale sedimentatie groter is.

Indien een duiker of open verbinding onder/door de overlaat wordt gelegd, zal aanzienlijk meer sedimentatie in (met name de kreken van) het doorstroomgebied plaats vinden. Tevens zijn de hydraulische consequenties (wat betreft stroomsnelheden) beperkt, waardoor deze maatregelen ook ecologisch niet erg interessant zijn. De recreatieve functie van een open verbinding zou eventueel kunnen opwegen tegen de morfologische aspecten (beheerskosten).

Tevens is onderzoek gedaan naar de karakteristieke invloedsfactoren op de inrichting van doorstroomgebieden. In hoofdstuk 14 worden er drie beschreven, die een doorstroomgebied kunnen karakteriseren.

- Mate van inundatie van de bovenstroomse overlaat;
- Getij invloed benedenstrooms;
- Verhouding sedimentgehalte water benedenstrooms en bovenstrooms.

Als de maatregelen voor verschillende typen gebieden uitgezet worden, wordt de matrix in tabel 15.2 verkregen. Hierin wordt aangegeven welke maatregel, onder specifieke omstandigheden vanuit morfologisch oogpunt, de voorkeur verdient.

Tabel 15.2: Overzicht aanbevolen inrichtingsmaatregelen voor krekens in de (in tabel 14.4) gekarakteriseerde typen doorstroombieden.

	Frequentie bovenstroomse inundatie laag		Frequentie bovenstroomse inundatie hoog	
	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden
Verticaal getij Klein	Dagelijkse invloed Smalle krekens en/of Duikers	Hoogwater invloed Smalle krekens en/of Bergend oppervlak*	Hoogwater invloed Smalle krekens en/of Duikers	Hoogwater invloed Brede krekens of een Zandvang*
Verticaal getij groot	Dagelijkse invloed Smalle krekens en/of Duikers	Dagelijkse invloed Smalle krekens	Dagelijkse invloed Smalle krekens en/of Duikers	Hoogwater invloed Brede krekens of een Zandvang*

*De termen 'bergend oppervlak' en 'zandvang' behelzen dezelfde maatregel, maar leggen de nadruk op de twee verschillende functies.

** Noordwaard ligt tussen de volgende twee in

Met betrekking tot het dwarsprofiel van een kreek zijn in hoofdstuk 5 al een aantal eisen naar voren gekomen welke bepalend zijn voor het ontwerp. Het talud rond de waterlijn is flauw (t.b.v. de ecologie) terwijl het talud in het diepere deel van het water steiler is (t.b.v. morfologie en recreatie).

Figuur 15.1: Dwarsprofiel kreek met flauwe taluds ter hoogte van de waterlijn.



15.2 Discussie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de validiteit van het onderzoek. Zeker bij morfologische onderzoeken is dit erg noodzakelijk, aangezien de uitkomsten (meer nog dan bij hydraulische studies) in sterke mate afhankelijk zijn van de gekozen randvoorwaarden en de uitgangspunten bij de schematisatie van de fysische werkelijkheid.

15.2.1. Randvoorwaarden

Om inzicht te krijgen in de invloed van modelparameters, is de gevoeligheid van de berekeningen getoetst door het variëren van:

- Type randvoorwaarden: Historisch of probabilistisch;
- Ontwerp- en procesparameters.

Verschil probabilistische en historische benadering

De uitkomsten tussen de probabilistische en historische benadering blijken sterk te verschillen. Dit heeft te maken met de uitgangspunten van deze modellen (hfst.9). Deze blijken voor de probabilistische benadering minder robuust te zijn. Daarom wordt meer waarde gehecht aan de resultaten van de historische benadering. Aspecten die bijdragen tot het verschil in resultaten van de benaderingen zijn:

Tijdsafhankelijke effecten:

- De stijging en daling van de hoogwatergolven en zeewaterstanden hebben een grote invloed op de morfologie;
- Hysterese effecten zijn verwaarloosd;
- Lozingsprogramma Haringvliet sluizen.

Maas-Rijn relatie:

- De Maasafvoer gedraagt zich in werkelijkheid, over een korte periode (1998), afwijkend van de langjarige 1 op 1 relatie met de Rijnafvoer.

Zeewaterstanden:

- De gemiddelde zeewaterstanden die in de probabilistische benadering gebruikt zijn, zijn relatief laag. Waardoor de in- en uitstroom van sediment in het doorstroomgebied beperkt blijft.

Ontwerp- en procesparameters

Zwevend stof parameters blijken een beperkte invloed te hebben op de totale sedimentatie. Rekening dient wel gehouden te worden met een licht verschil in verdeling van het sediment over het lengte profiel.

De invloed van ontwerpparameters op de morfologie verschilt per parameter. Variatie in de breedte van de kreek blijkt geen grote invloed te hebben. Het model blijkt echter wel gevoelig te zijn voor het vergroten van het bergend oppervlak aan de noordzijde van het doorstroomgebied. De lokale geometrie van de omgeving kan dus voor een beperking of vergroting van de sediment toevoer zorgen. Voor een kwalitatieve afweging van alternatieven speelt dit echter geen grote rol.

15.2.2. Schematisatie

De omzetting van de fysische wereld naar een model brengt met zich mee dat een bepaald aspect van de werkelijkheid benadert wordt, waardoor niet alle vragen met één model beantwoord kunnen worden.

Een 1D numeriek model beperkt de bruikbaarheid van de resultaten, voor een ontwerpstudie volstaat een dergelijke aanpak echter aangezien de effecten kwalitatief vergeleken worden. Enkele voor en nadelen van de gekozen methode zijn:

- **Positief:** Beperking van de rekestijden waardoor meer simulaties gemaakt kunnen worden.
- **Negatief:** De ruimtelijke verdeling van de sedimentatie over het doorstroomgebied moet dan ook gezien worden als een globale indicatie. Dit komt door 2 aspecten:
 - De schematisatie van de overlaten en de lengte profielen (drie losse kreek in plaats van één doorstroomgebied).
 - In de analyse is uitgegaan van één Noordwaard-tak (tak 2), aangezien een integrale aanpak van het gehele gebied zeer moeilijk te realiseren is.

Een goede benadering van de werkelijke effecten van de loop van de kreek op de morfologie van het gebied is moeilijk te realiseren. In dit onderzoek is bij het bepalen van 2D effecten uitgegaan van algemene

morfologische principes. Het beperkte tijdraam van dit onderzoek speelt een grote rol bij deze keuze. Meer onderzoek naar de ruimtelijke verdeling van de sedimentatie verdient echter wel aanbeveling.

Een ander minder realistisch aspect van de modellering is dat in de gebruikte MHW schematisatie drie takken geschematiseerd zijn. De breedte van de takken en de overlaten is dimensioneel aangepast op hoogwater afvoeren. Onder niet-maatgevende omstandigheden kan het echter voorkomen dat de waterhoogte tussen aangrenzende takken (die in werkelijkheid verbonden zijn) verschilt, wat fysisch niet realistisch is. Dit is een onontkoombaar probleem van een 1D benadering en kan niet voor alle hydraulische omstandigheden afgeregeld worden.

15.3 Onderzoeksaanbevelingen

Een aantal zaken zou in een vervolgonderzoek bekeken moeten worden. Dit betreft zaken als:

- Morfologie over een langjarige periode;
- Invloed loop/ligging (2D/3D effecten) van de kreken op morfologie;
- 2D Verdeling sedimentatie over het doorstroomgebied;
- Relatie tussen vegetatie en stabiliteit van kreken.

Morfologie over een langjarige periode

Het is interessant om over een langjarige periode te kijken naar de sedimentatie in het doorstroomgebied. Hierdoor kunnen natte en droge jaren uitgemiddeld worden. In dat geval kan meer gezegd worden over de gemiddelde beheerskosten en de onzekerheden hierin. Tevens kan de invloed van een langjarige tijdsafhankelijke modellering beter met een quasi statische benadering vergeleken worden.

Invloed loop kreken op morfologie

De ontwerp vragen omtrent de juiste ligging van de kreken in een doorstroomgebied zijn zeer complex en vragen, ten minste, om een 2DH benadering en misschien zelfs een 3D model. Hierbij kan een overzicht gegeven worden van de effecten in verschillende typen doorstroomgebieden.

2D Verdeling van sedimentatie over het doorstroomgebied

Zodra concrete ontwerpen voor het doorstroomgebied beschikbaar zijn verdient het aanbeveling met behulp van een 2D model met waterkwaliteitsmodule (bijv. Waqua-Delwaq) te kijken naar de ruimtelijke verdeling van de sedimentatie over het doorstroomgebied.

Relatie tussen vegetatie en stabiliteit van kreken

In hoofdstuk 2 wordt bij de doelstelling de vraag gesteld: "Is een eenvoudige benadering mogelijk voor het effect van vegetatie op de stabiliteit van de kreken?". Dit onderdeel van de doelstellingen wordt in dit rapport niet concreet beantwoord. Het verdient aanbeveling om vervolgonderzoek te doen naar de relatie tussen vegetatie en morfologische stabiliteit van kreken.

Literatuur

De gebruikte literatuur wordt weergegeven. De literatuur bestaat uit:

- Onderzoeksrapporten
- Publicaties
- Documenten 'Ruimte voor de Rivier'

Onderzoeksrapporten

Ankum, P., en Brouwer, R., 1993. "Nevengeulen en sedimentverdeling", sectie Waterbeheer, vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU Delft, november 1993. (Opdrachtgever: Riza)

Duel, H., During, R., en Specken, B., 1993. "Nevengeulen, verkenning naar de ecologische betekenis van inrichtingsvarianten", INRO-TNO, Rapportnr. P/93/ECO/02, Delft, april 1993.

Doomen, A., 2003. "Kwaliteitsontwikkeling van een uiterwaardbodemp, na rivierverruimende maatregelen langs Rijn en Maas", RIZA / Universiteit Utrecht, Dordrecht, december 2003.

Dreumel, P.F. van, 1995. "Slib- en zandbeweging in het Noordelijk deltabekken in de periode 1982-1992", Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, afdeling watersysteemkennis, Rotterdam, december 1995

Fioole, A., 1999. Afvoerrelaties voor takken Rijn en Maas.

Fioole, A., Houwing, E.J., en Visser, A.Z., 2002. "Sedimentbalans 1960-2000 zwevend stofvracht Rijn en Maas", RIZA-werkdocument 2002.197X, Dordrecht, november 2002

Geerse, C.P.M., 2003. "Probabilistisch model hydraulische randvoorwaarden Benedenrivierengebied", RIZA-werkdocument 2003.128X, Lelystad, december 2003

Gelder, A. de, 2003. "Morfologische ontwikkeling bij rivierverruiming van polder de Biesbosch", Memo, Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, maart 2003

Havinga, F.J., Havinga, H., Visser, P.J., De Vriend, H.J, en Wang, Z.B., 2002. "Dictaat: Rivierwaterbouwkunde", sectie Waterbouwkunde, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU Delft, mei 2002

Jans, L.H., et al., 2002. "Monitoring nevengeulen, integrale jaarrapportage 2000/2001", RIZA-werkdocument 2002.083X, Lelystad, april 2002. (Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, directie Oost Nederland)

Jans, L.H., et al., 2004. "Evaluatie nevengeulen Gamberensche waard 1996-2002", RIZA-rapport 2004-024, Lelystad, oktober 2004.

Jansen, P., Bendegom, L., Van den Berg, J., De Vries, M., en Zanan, A., 1979. "Principles of River Engineering, The non-tidal alluvial river", Delftse uitgevers maatschappij.

Krone, R.B., 1962. "Flume studies of the transport of sediments in estuarial shoaling processes", Final Report, Hydraulic Engineering Laboratory en Sanitation Engineering Research Laboratory, University of California, Berkely, California, US

Langemheen, W. van de, en Berger, H.E.J., 2001. "Hydraulische randvoorwaarden 2001: Maatgevende afvoeren Rijn en Maas", RIZA-rapport 2002.014, Arnhem, oktober 2001.

Linden, M. van der, Van Zetten, J.W., 2001. "Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken, bouw kalibratie en verificatie", RIZA-rapport 2002.002X, Dordrecht, november 2001.

Meijer, D.G., en Van Bommel, M.S., 2002. "Sobek-berekeningen 'Eiland van Dordrecht'", Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, Rotterdam, september 2002.

Middelkoop, H., Van der perk, M., Thonon, I., 2003. "Herverontreiniging van uiterwaarden langs de Rijntakken met sedimentgebonden zware metalen", Departement Fysische Geografie, Universiteit Utrecht, maart 2003. (Opdrachtgever: RIZA)

HR1996. "Hydraulisch randvoorwaardenboek primaire waterkeringen, 1996", Ministerie van Verkeer en Waterstaat, directoraat-generaal Rijkswaterstaat, 1996.

HR2001. "Hydraulisch randvoorwaardenboek primaire waterkeringen, 2001", Ministerie van Verkeer en Waterstaat, directoraat-generaal Rijkswaterstaat, december 2001.

Mol, A.C.S., 2003. "Morfologische gevolgen van rivierverruimende maatregelen langs de Merweden", Universiteit Twente, afstudeerrapport

Mol, A.C.S., 2004. "Morfologische effecten Ruimte voor de Rivier in het benedenrivierengebied", Universiteit Twente, 2004R-007/WEM-010

Ogink, H.J.M., 2002. "Quick scan zomerbed verdieping Merweden", WL|Delft hydraulics, juli 2002. (Opdrachtgever: Bouwdienst Rijkswaterstaat)

Parmet, B.W.A.H., Van de Langemheen, W., Chbab, E.H., Kwadijk, J.C.J., Diermanse, F.L.M., Klopstra, D., 2001. "Analyse van de maatgevende afvoer van de Rijn te Lobith, onderzoek in het kader van

het randvoorwaardenboek 2001”, RIZA-rapport 2001-012, Arnhem, augustus 2001.

Snippen, E., Fioole, A., Geelen, H., Kamsteeg, A., Van Spijk, A., en Visser, A.Z., 2005. “Sediment in beweging, Sedimentbalans Rijn-Maasmonding periode 1990-2000”, Rijkswaterstaat, RIZA-rapport, Rotterdam, 11 mei 2005.

Verbeek, H., Van Zetten, J.W., en Ludikhuizen, D., 1995. “Vergelijking tussen 1D en 2D slijbtransportmodellen”, Rijkswaterstaat, RIZA, RIZA-werkdocument 95.107X, Lelystad.

Visser, A.Z., en Snippen, E., 2002. “Een SOBEK-slijbmodel van het Noordelijk Deltabekken, Fase I: Pilot toepassing model”, RIZA-werkdocument 2002.142X, Dordrecht, september 2002.

Wijngaarden, M. van, 1998. “Sedimentatie en erosie van zwevend stof in nevengeulen”, RIZA-rapport 97.078, Lelystad, januari 1998.

Wijngaarden, M. van, en Ludikhuizen, D., 1998. “MER Beheer Haringvlietsluizen, deelrapport Morfologie en kwaliteit binnengebied”, RWS APV 98/094, december 1997.

WL | Delft Hydraulics, 1990. “Geulen en uiterwaarden”, september 1990. (Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA)

WL | Delft Hydraulics, 2000. DELWAQ Processes Library, Technical Reference Manual, juni 2000.

WL | Delft Hydraulics, 2001. SOBEK River/Estuary User Manual, januari 2001.

Wolters, H.A., Platteeuw, M., en Schoor, M.M., 2001. “Richtlijnen voor inrichting en beheer uiterwaarden, ecologie en natuur gecombineerd”, RIZA-rapport: 2001.059, december 2001.

Zetten, J.W. van, 2001. “Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken, de geometriebeschrijving”, RIZA-werkdocument 2000.129X, Dordrecht, januari 2001.

Publicaties

Engelund, F., and Hansen, E., 1967. “A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams”, Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark, pp. 1-62

Partheniades, E., 1965. “Erosion and deposition of cohesive soils”, ASCE, Journal of the Hydraulics Division, Vol.91, No.HY1, pp. 105-139

Ruimte voor de Rivier

Bureau Benedenrivieren, 2004. “Benedenrivieren in samenhang, stand van zaken regionale voorkeuren Ruimte voor de Rivier”, Project organisatie Ruimte voor de Rivier, André Rijsdorp, Annabel Méndez

Lorenzo en Oskar De Kuijer, namens Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, april 2004.

Bureau benedenrivieren, 2003. "Verkenning Noordwaard, denken over rivierverruiming", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, oktober 2003.

Ministerie van V&W en VROM, 1996. "Beleidslijn Ruimte voor de Rivier", Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996.

"Startnotitie M.E.R. in het kader van de PKB-procedure Ruimte voor de Rivier", ministeries van Verkeer en Waterstaat, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, mei 2002.

"PKB Ruimte voor de Rivier, deel 1", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, mei 2005.

"Milieu Effect Rapportage in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, mei 2005.

Bijlagen: Doorstroommogelijkheden

Een studie naar de relatie tussen morfologie en ontwerp van krekens in een getij beïnvloed doorstroomgebied.

8 september 2005



Inhoudsopgave

Bijlage A	Kaartmateriaal	4
A.1	Topografische kaart Noordwaard	4
A.2	Overzichtskaart uit regioadvies	5
Bijlage B	Effectiviteit topafvlakking door berging	6
B.1	Gegevens	6
B.2	Effectiviteit bij overlaat Nieuwe Merwede	7
B.2.1	Waterstanden naar debiet en tijdsduur	7
B.2.2	Tijdsduur naar piekdebiet en waterstanden	8
B.3	Effectiviteit bij Gorinchem	8
B.4	Invloed getijdewerking	9
B.5	Conclusie	10
B.6	Appendix formules	10
Bijlage C	Open verbinding krekken met Nieuwe Merwede	11
C.1	Algemeen	11
C.2	Open verbindingskanaal met beschermde bodem	12
C.2.1	Gegevens	12
C.2.2	Hydraulische consequenties	12
C.2.3	Bodembescherming	13
C.2.4	Overige aspecten open verbinding	14
C.3	Kreek met alluviale bodem	14
C.3.1	Evenwichtstransport door kanaal	14
C.3.2	Afvoer sediment Nieuwe Merwede	15
C.3.3	Sedimentbalans kreek met open verbinding	15
C.4	Inlaatconstructie	18
C.5	Conclusie	18
Bijlage D	Statistische informatie waterstanden	19
D.1	Locaties waterstanden	19
D.2	Histogrammisch overzicht	20
D.2.1	Uurwaterstanden	20
D.2.2	Maximum dagwaterstanden	21
D.2.3	Minimum dagwaterstanden	23
D.2.4	Gemiddelde overschrijdingsduur	23
D.3	Frequentie waterstanden	24
D.3.1	Uurwaterstanden	24
D.3.2	Maximum dagwaterstanden	26
D.3.3	Minimum dagwaterstanden	27
D.4	Conclusie	28
Bijlage E	Hydraulische gegevens	29
E.1	Overschrijdingsfrequentie afvoeren	29
E.2	Afvoerrelaties	30
E.3	Overgangsdebieten	30

Bijlage F	Randvoorwaarden	32
F.1	Historische randvoorwaarden	32
F.1.1	Biesbosch	32
F.1.2	Model Noordelijk deltabekken	32
F.2	Probabilistische benadering	35
F.2.1	Aanpak fractionering	35
F.2.2	Schematisatie afvoergolven	36
F.2.3	Zeespiegel	37
Bijlage G	Morfologie bij hoogwater	38
Bijlage H	Check morfologie historische methode	41
H.1	Biesbosch model historisch	41
H.2	NDB-model historisch	42
Bijlage I	Resultaten	45
I.1	Brede of smalle krekken	45
I.2	Bergend oppervlak	45
I.3	Duikers	45
Bijlage J	Resultaten	46
J.1	Referentie model	46
J.1.1	Noordwaard tak 2	46
J.1.2	Noordwaard tak 1	46
J.1.3	Noordwaard tak 3a - 3b	47
J.2	Gevoeligheidsanalyse	48
J.2.1	Halve valsnelheid	48
J.2.2	Dubbele valsnelheid	48
J.2.3	Halve tau kritisch	49
J.2.4	Dubbele tau kritisch	49
J.3	Model aanpassingen	50
J.3.1	Breedte -25%	50
J.3.2	Breedte +50%	50
J.3.3	Duiker 15m ²	51
J.3.4	Duiker 20m ²	51
J.3.5	Open verbinding	52
J.3.6	Berging 50000m ²	52

**A.2 Overzichtskaart uit regioadvies
(Bureau Benedenrivieren, 2005)**



Bijlage B Effectiviteit topafvlakking door berging

Een voorstudie is uitgevoerd om een indruk te krijgen van het haalbare effect door berging, in de zomerpolders van de Noordwaard, op de waterstanden bij Gorinchem. Ten behoeve hiervan is eerst het waterstandverlagend effect op de Nieuwe Merwede geschat (§B.2), waarna het effect bij Gorinchem is benaderd (§B.3). Uitgangspunt in dit onderzoek is dat het waterstandverlagend effect lineair gekoppeld is aan het onttrokken debiet (bij de overlaat). Voor kleine verandering in het debiet lijkt dit een redelijke aanname. In het kort dus de volgende aanpak. Tevens is verondersteld dat de onttrekking van de zomerpolders een direct effect heeft op de waterstanden op de Nieuwe Merwede.

Invloed berging op waterstanden Nieuwe Merwede

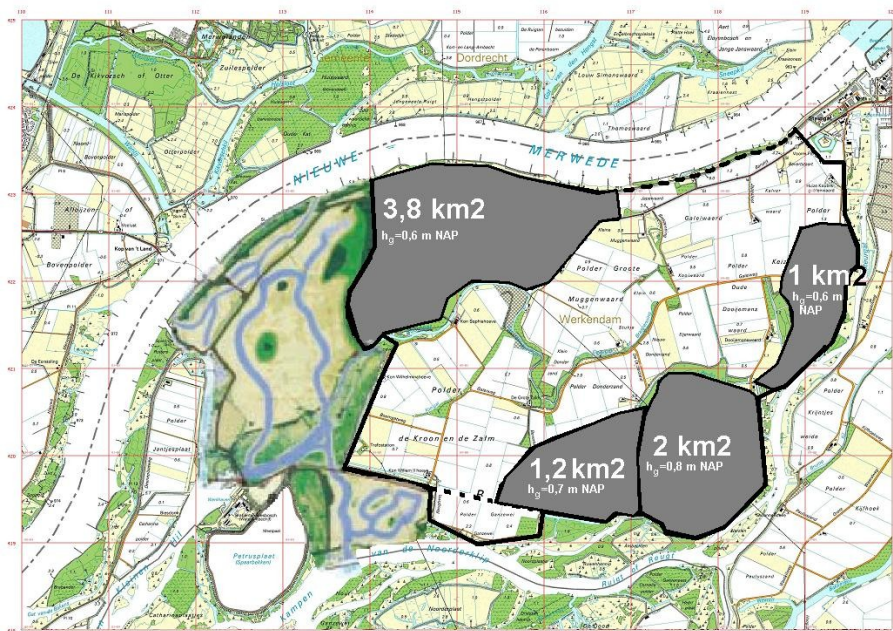


Doorwerking effect op Nieuwe Merwede naar effect bij Gorinchem

B.1 Gegevens

Om inschattingen te kunnen maken voor de invloed van de zomerpolders op waterstanden bij Gorinchem zijn gegevens nodig. Hiervoor zijn aannames gedaan voor de omvang en bodemhoogte van de zomerpolders (figuur 1; tabel 1). Deze invoer gegevens zijn voldoende nauwkeurig om een inschatting voor de effectiviteit van de zomerpolders te maken.

Figuur 1: Locatie en oppervlakte zomerpolders



Tabel 1: Informatie over zomerpolders Noordwaard

Polders	opp [m ²]	diepte [m]	lengte
Kievitswaard	4000000	2	3000
Steenenmuur	4000000	2	4000

B.2 Effectiviteit bij overlaat Nieuwe Merwede

Vanuit twee invalshoeken kan een inschatting gemaakt worden van het maximaal haalbaar waterstandverlagend effect door berging in de zomerpolders.

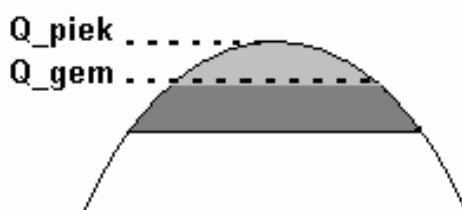
- Uitgaande van de overhoogte van de waterstand ten opzichte van de kades van de zomerpolders.
- Met behulp van een representatieve afvoerkromme, en de duur van het debiet dat afgetopt dient te worden. Van hieruit wordt terug gerekend naar een piek in het debiet die opgevangen kan worden.

Bepaling effect zomerpolders op afvoer door de Noordwaard

Overhoogte → Tijdsduur & gemiddeld debiet
 Tijdsduur (afvoerkromme) → Piekdebiet

Bij deze methoden wordt uitgegaan van een parabolisch verloop van de afvoergolf. Onderscheid wordt daarom gemaakt tussen het gemiddeld en piekdebiet, deze verhouden zich in grootte tot elkaar als 2 staat tot 3 (figuur 2).

.....
 Figuur 2: Afvoerkromme met piek en gemiddelde afvoer



De bepaling van het precieze afgetopte piekdebiet is iteratief van aard, en wordt bepaald door de vorm van de afvoergolf.

B.2.1 Waterstanden naar debiet en tijdsduur

Uit een veronderstelde overhoogte van de waterstand (t.o.v. de zomerpolder kades) kan een bijbehorend debiet en afvoertijd berekend worden.

Voorbeeld: Bij een overhoogte van 5 cm treedt een debiet 133 m³/s tot de zomerpolders toe. Deze zullen dan in circa 16,5 uur gevuld zijn met water. Dit correspondeert met een piekafvoer van 200 m³/s (=3/2*133 m³/s).

.....
 Tabel 2: Inundatie snelheid en duur van zomerpolders bij verschillende overhoogte van de waterstanden.

Overhoogte [m]	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
q [m ² /s]	0,019061	0,025056736	0,031575	0,038577	0,046032	0,053914
Q_Kievitsw [m ³ /s]	57,18391	75,17020686	94,72529	115,7321	138,0965	161,7405
Q_Steener [m ³ /s]	76,24522	100,2269425	126,3004	154,3095	184,1287	215,654
Q_totaal [m ³ /s]	133,4291	175,3971493	221,0257	270,0416	322,2251	377,3946
Q_gemidd [m ³ /s]	88,95275	116,9314329	147,3504	180,0277	214,8168	251,5964
Stroomsne [m/s]	0,381226	0,41761226	0,451073	0,482217	0,511468	0,539135
Stijgsnelhe [m/uur]	0,051466	0,067653186	0,085253	0,104159	0,124287	0,145566
Stijgsnelhe [m/uur]	0,068621	0,090204248	0,11367	0,138879	0,165716	0,194089
T_Kievitsw [uur]	38,86097	29,56253967	23,45965	19,20143	16,09181	13,73943
T_Steener [uur]	29,14573	22,17190475	17,59474	14,40107	12,06886	10,30457
T_totaal [uur]	16,6547	12,66965986	10,05414	8,229185	6,896489	5,888326

B.2.2 Tijdsduur naar piekdebiet en waterstanden

Bij de tweede methode wordt met behulp van de afvoergolf de aftoppingsduur en het piekdebiet bepaald.

Voorbeeld: Bij een duur van de aftopping van 16 uur hoort een piekdebiet aftopping van 208 m³/s.

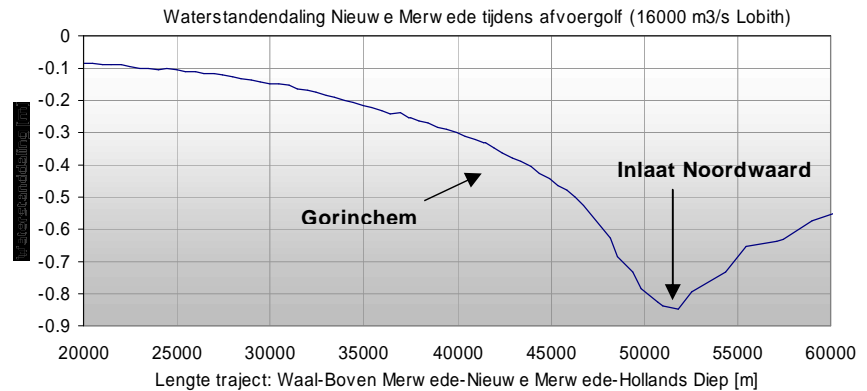
Tabel 3: Relatie tussen de tijdsduur en het afgetopte debiet

Tijdsduur -> Piekdebiet	
T [uur]	10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
Q [m ³ /s]	333 278 238 208 185 167 152 139 128 119 111

B.3 Effectiviteit bij Gorinchem

Met behulp van het onttrokken debiet op de Nieuwe Merwede (ter hoogte van de inlaat) kan een schatting gemaakt worden van de effectieve waterstandverlaging bij Gorinchem. Het effect van de Noordwaard op de maatgevende waterstanden (figuur 3) bij Gorinchem wordt op deze wijze gelineariseerd.

Figuur 3: Effectiviteit Noordwaard op de maatgevende waterstanden op de Nieuwe Merwede en Boven Merwede



Na enig onderzoek met behulp van MHW-afvoergolven komt naar voren dat een top van een afvoergolf met een duur van 24 uur en een piekafvoer van 140m³/s door de zomerpolders geborgen zou kunnen worden. Dit levert (maximaal) 3 cm waterstandverlaging op de Nieuwe Merwede en 1 cm bij Gorinchem. In tabel 4 wordt het effect hiervan bij de overlaat (Nieuwe Merwede) en bij Gorinchem weergegeven.

Voorbeeld: Voor een topafvlakking met een duur van 28 uur en piek van 120 m³/s mag onder gunstige omstandigheden een effect bij Gorinchem van circa 0,9 cm verwacht worden.

Tabel 4: Inschatting invloed zomerpolders op effectiviteit van Noordwaard.

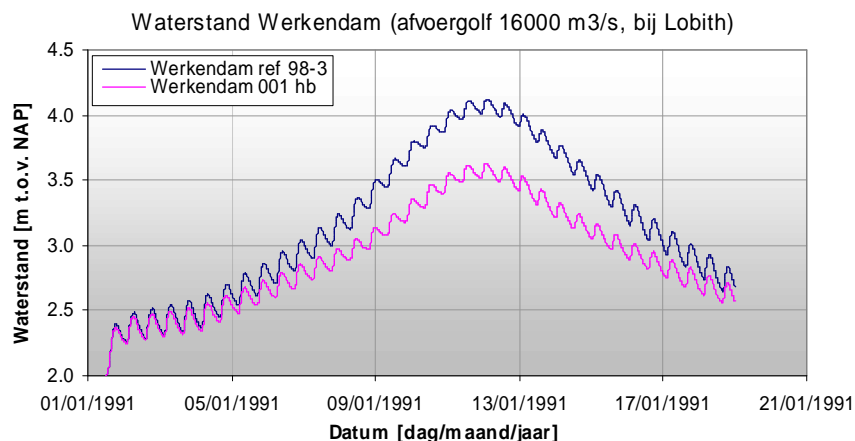
Bepaling invloed zomerpolders		0	12	16	20	24	28
Duur_piek [uur]							
Debiet overlaat [m ³ /s]		3000	3185	3139	3111	3093	3079
Inlaat [m]		-0.85	-0.90	-0.89	-0.88	-0.87	-0.87
Gorinchem [m]		-0.35	-0.37	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36
Effect berging G.[cm]			2.15	1.61	1.29	1.07	0.92

B.4 Invloed getijdewerking

De benaderingen in de paragrafen B.2 en B.3 gaan uit van een continue en parabolisch verlopende piekafvoer. Verwacht mag echter worden dat de effectiviteit groter kan zijn, als de getij invloed betrokken wordt in het onderzoek. Aangezien de maatgevende waterstand deels door relatief korte getijpieken bepaald wordt.

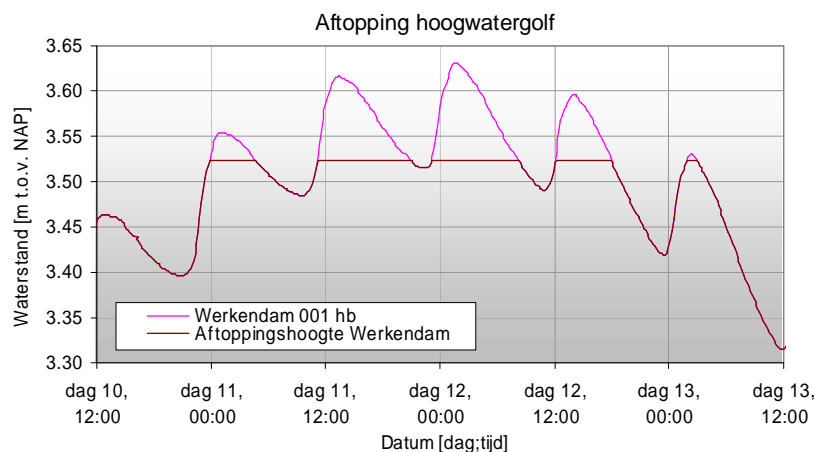
Daarom wordt de getij invloed op de piekaftopping nader onderzocht. Hiervoor is een MHW-afvoergolf van $16000\text{m}^3/\text{s}$ bij Lobith gebruikt, welke aan MHW-berekeningen ontleend is (Van der Linden, 2005).

.....
 Figuur 4: Hoogwater afvoergolf bij Werkendam (16000 m³/s bij Lobith), met Noordwaard (001hb) en zonder Noordwaard (ref98-3).



De aftopping van de getijbeïnvloede piekwaterstanden wordt in figuur 5 weergegeven.

.....
 Figuur 5: Aftopping waterstanden bij Werkendam onder ideale omstandigheden



De effectiviteit bij verschillende dijkhoogtes van de zomerpolders kan bepaald worden met behulp van bovenstaande afvoergolf.

.....
 Tabel 5: Globale inschatting van de invloed dijkhoogte van de zomerpolders op de effectiviteit.

Hoogte dijk [m] t.o.v. NAP	Effect inlaat [m]	Effect Gorinchem [m]
3.6	0.031	0.012
3.58	0.051	0.020
3.56	0.071	0.028
3.54	0.091	0.036
3.53	0.101	0.040
3.522	0.109	0.043
3.52	0.047	0.019
3.5	0.004	0.002
3.49	0.000	0.000

Uit tabel 5 komt naar voren dat het effect van berging op de waterstanden sterk afhankelijk is van de gekozen dijkhoogte. Een te lage dijkhoogte beperkt het effect doordat al tijdens niet-kritische omstandigheden water geborgen wordt. Bij een te hoge dijkhoogte zullen de zomerpolders echter te weinig water onttrekken.

Het is raadzaam te kiezen voor een grotere dijkhoogte dan verwacht mag worden op basis van berekeningen, waardoor de effectiviteit slechts beperkt afneemt en de betrouwbaarheid toeneemt. Zodoende kan rekening gehouden worden met onzekerheden in waterstanden. Deze worden bepaald door een tweetal aspecten:

- De vorm van de afvoergolven, die sterk kan variëren;
- Onzekerheden in de modelresultaten voor de Noordwaard, met name de waterhoogte binnen de Noordwaard.

B.5 Conclusie

De effectiviteit van de zomerpolders bij Gorinchem bedraagt onder ideale omstandigheden tussen de 1 en 4 cm. De dijkhoogte dient echter precies afgestemd te worden op de betreffende afvoer. De zomerpolders kunnen dan ook alleen ontworpen worden voor een aantal specifieke afvoergolven. Indien de afvoergolven groter of kleiner zijn, dan zullen de zomerpolders geen effect hebben.

Tevens moet rekening gehouden worden met de uitgangspunten van dit onderzoek. Deze gaan uit van een optimistisch scenario, immers:

- De invloed van een vergrote afvoer bij de Noordwaard is niet lineair gekoppeld aan het waterstandverlagend effect bij Gorinchem. Dit geldt met name voor de getijbeïnvloede variant.
- De invloed van de afvoer naar de zomerpolders kan niet gelijk gesteld worden met een onttrekking uit de Nieuwe Merwede. Het effect zal kleiner zijn, aangezien de afvoer van water naar de Biesbosch door de verlaagde waterstanden in de Noordwaard minder dan evenredig zal zijn.
- Uitgangspunt is dat er zich slechts één hoogwatergolf voordoet.
- De zomerpolders dienen leeg te zijn als de piek van de hoogwatergolf zich voordoet.
- Nauwkeurig onderzoek naar de waterstanden in de Noordwaard is noodzakelijk, om de kades nauwkeurig te kunnen dimensioneren.

B.6 Appendix formules

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een aantal relaties tussen fysische grootheden.

Overhoogte -> Debiet $q = \frac{2}{3} \cdot a \sqrt{2/3 \cdot ga}; \quad Q = q \cdot L$

Debiet & Opp polder -> Stijgsnelheid $v = \frac{Q}{Opp}$

Stijgsnelheid & Diepte polder -> Tijdsduur $T = \frac{h}{v}$

Relatie: Tijdsduur, Opp polder -> Qpiek $\bar{Q} = Opp \cdot T \quad ; \quad \hat{Q}_{piek} = \frac{3}{2} \cdot \bar{Q}$

Bijlage C Open verbinding kreken met Nieuwe Merwede

De ontwikkeling van de Noordwaard, met name het doorstroomgebied, biedt goede mogelijkheden voor recreatie. Ten behoeve hiervan is in deze voorstudie onderzoek gedaan naar de mogelijkheden en onmogelijkheden van een open vaarverbinding tussen de Nieuwe Merwede én de kreken in het doorstroomgebied.

Ten behoeve hiervan is de algemene opzet van een verbinding beschreven (§C.1), waarna een tweetal opties zijn uitgewerkt:

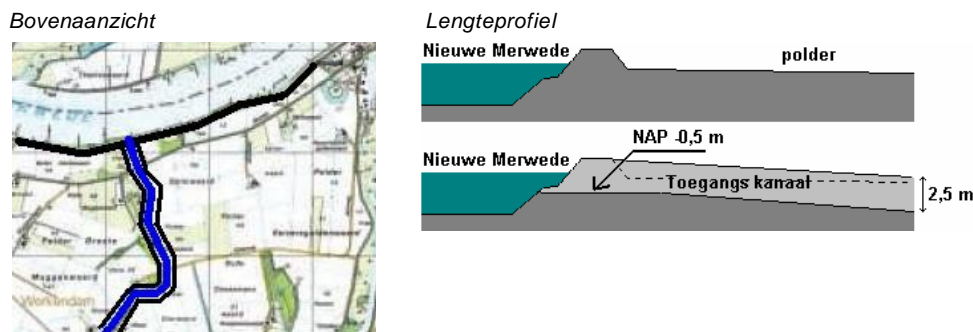
- Open verbindingskanaal, met beschermde bodem (§C.2);
- Open verbindingskanaal, met alluviale bodem (§C.3).

Tevens worden een aantal constructieve maatregelen die invloed hebben op de sedimenttoevoer naar de kreken genoemd (§C.4).

C.1 Algemeen

Het is mogelijk om een open verbinding te creëren door de overlaat, waarachter plas-dras land ontstaat. De bodem dient dan zorgvuldig beschermt te worden. De morfologische effecten van dit alternatief worden in hoofdstuk 12 toegelicht. In dit vooronderzoek wordt echter gekozen voor een open verbinding, waarbij de kreken achter de opening beschermt worden met kades.

.....
Figuur 1: Open verbinding met Noordwaard, middels een kanaal met beschermende kades. (links: Bovenaanzicht; rechts: lengteprofiel)

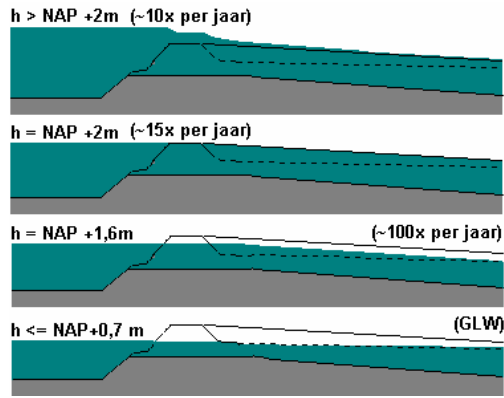


Uitgangspunt in het onderzoek is dat de verbinding hydraulisch gezien gunstige omstandigheden biedt voor de recreatie, en tevens morfologisch beperkte consequenties heeft. Om dit te realiseren dient het kanaal een zekere lengte te hebben, om voldoende hydraulische weerstand te bieden. Excessieve toetreding van water en sediment tot het kanaal wordt dan voorkomen. Dit onderzoek richt zich dan ook op een aantal parameters die de hydraulica en morfologie bepalen:

- Lengte verbinding;
- Dwarsprofiel.

Een dergelijk kanaal dient onder wisselende omstandigheden te kunnen functioneren. In figuur 2 wordt het lengteprofiel van de kreken voor verschillende hydraulische omstandigheden weergegeven.

.....
 Figuur 2: Weergave open verbindingkanaal onder wisselende omstandigheden



C.2 Open verbindingkanaal met beschermde bodem

De volgende aspecten zijn bepalend voor een kreek met een beschermde bodem:

- Stroomsnelheden door kanaal;
- Debiet door kanaal;
- Bescherming bodem.

C.2.1 Gegevens

Met name de recreatieve watersport heeft baat bij een open verbindingkanaal. De stroomsnelheden dienen daarom beperkt te worden tot onder de 2 m/s. Essentieel hiervoor zijn de hydraulische omstandigheden op de Nieuwe Merwede.

.....
 Tabel 1: Waterdiepte kanaal onder verschillende hydraulische omstandigheden.

Waterhoogte Nieuwe Merwede - Noordwaard				
	GLW	GHW	100/jaar	15x/jaar
Nieuwe Merwede	0,65 m	0,95 m	1,60 m	2,00 m
Noordwaard	0,40 m	0,70 m	1,00 m	1,20 m

Tevens dient een referentie ontwerp gekozen te worden (tabel 2), alsmede algemene fysische constanten (tabel 3).

.....
 Tabel 2: (Links) Referentie dwarsprofiel van de open verbinding.

Referentie	
Breedte [m]	8
H_bodem NAP [m]	-0,5
h_buiten [m]	1,6
h_binnen [m]	1
Lengte [m]	800

.....
 Tabel 3: (Rechts) Algemene parameters.

Dimensional parameters	
delta	1,65 m
g	9,81 m/s ²
Viscositeit	1,33E-06

De eigenschappen van het standaard kanaal worden in paragraaf C.2.2 gevarieerd om de gevoeligheid van de hydraulica voor deze parameters in te kunnen schatten.

C.2.2 Hydraulische consequenties

De effecten van de volgende ontwerpvarianties worden in deze paragraaf weergegeven:

- Waterhoogte op de Nieuwe Merwede;
- Lengte van het kanaal;
- Diameter bodembedekkend materiaal (ruwheid);
- Breedte kanaal;
- Diepteligging bodem.

In tabel 4 wordt de invloed van de benoemde parameters op de stroomsnelheden en debieten in het kanaal beschouwd.

Tabel 4: Effect van variatie in verschillende parameters op de hydraulische omstandigheden.

Omstandigheden	Referentie	Waterhoogte				Lengte kanaal			Bodembedekking		Breedte		H_Bodem	
Breedte [m]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	10	8	8	
H_bodem NAP [m]	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0	-1	
h_buiten [m]	1,6	0,95	1,2	2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	
h_binnen [m]	1	0,7	0,85	1,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Lengte [m]	800	800	800	800	1000	600	500	800	800	800	800	800	800	
Diameter [mm] *	20	20	20	20	20	20	20	30	40	20	20	20	20	
ib	7,50E-04	3,13E-04	4,38E-04	1,00E-03	6,00E-04	1,00E-03	1,20E-03	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	7,50E-04	
Flow parameters	Referentie	Waterhoogte				Lengte kanaal			Bodembedekking		Breedte		H_bodem	
C	[m ^{1/2} /s]	43,92	41,91	42,80	44,79	43,92	43,92	43,92	40,75	38,50	43,07	44,48	42,46	44,97
U=C√Ri	[m/s]	1,41	0,76	0,98	1,76	1,26	1,63	1,79	1,31	1,24	1,31	1,48	1,24	1,55
Q=u.bd	[m ³ /s]	23,71	8,86	13,30	35,13	21,21	27,38	29,99	22,00	20,79	16,52	31,11	15,91	32,16

* de diameter is zodanig bepaald dat deze voor alle varianten voldoet.

Effecten

De stroomsnelheden voor de verschillende varianten variëren tussen de 1,2 m/s en 2,0 m/s bij een normale waterstand van NAP +1,6m op de Nieuwe Merwede. Tabel 5 geeft de relatieve invloed van de variatie in ontwerpparameters weer.

Tabel 5: Effect van variatie in de waterhoogte, lengte, breedte, bodembedekking en bodemhoogte van het kanaal op de stroomsnelheden (relatief ten opzichte van het referentie ontwerp).

Effecten	Waterhoogte			Lengte kanaal			Diameter stenen		Breedte		H_bodem	
Variatie	1,0 m	1,2 m	2,0 m	1000 m	600 m	500 m	30 mm	40 mm	6 m	10 m	NAP 0m	NAP -1m
Verschil parameter	-41%	-25%	25%	25%	-25%	-38%	50%	100%	-25%	25%	-24%	24%
Stroomsnelheid	-46%	-31%	24%	-11%	15%	26%	-7%	-12%	-7%	5%	-12%	10%

Van de varianten heeft met name de bodemruwheid een grote invloed op de stroomsnelheden. Doormiddel van een grovere filterlaag kunnen de stroomsnelheden gereduceerd worden.

C.2.3 Bodembescherming

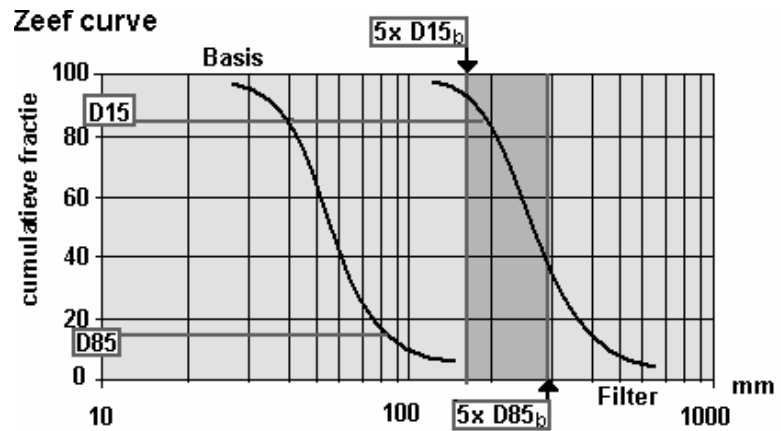
Bij deze stroomsnelheden is bodembescherming een vereiste. Dit kan met behulp van een granulair filter worden verwezenlijkt. De minimale diameter van de stenen in de eerste filterlaag is bepaald met behulp van het Shields stabiliteitscriterium (Shields, 1936). De bodem onder de eerste laag stenen dient echter ook beschermd te worden omdat deze anders zou wegspoelen. Gekozen wordt voor een 'gesloten' granulair filter.

Voor 'gesloten' filters gelden een aantal regels. Met de stabiliteitsregel wordt bepaald of de kleinste openingen in het filter kleiner zijn dan de grootste fractie in het basis materiaal. De permeabiliteit regel geeft aan of het filter materiaal niet te ondoorlatend is, waardoor waterspanningen onder het filter kunnen ontstaan. De interne stabiliteit bepaald of het materiaal niet te wijd gegradeerd is, waardoor veel filter materiaal kan uitspoelen. Met behulp van zeefcurves kan worden nagegaan of voldaan wordt aan de voorwaarden.

Tabel 6: Ontwerpregels voor gesloten filters.

Type controle	Controle
Stabiliteit	$D_{15_{Filter}} < 5x D_{85_{Basis}}$
Permeabiliteit	$D_{15_{Filter}} > 5x D_{15_{Basis}}$
Interne stabiliteit	$D_{60} < 10x D_{10}$

.....
 Figuur 3: Zeefcurve met weergave stabiliteitsregels van gesloten granulaire filters.



Voor een dergelijk project kan gebruik worden gemaakt van fijn grind en grof zand als filter lagen. Beide lagen dienen een dikte van 15 cm te hebben (minimale dikte). In tabel 7 worden de eigenschappen van de filter lagen weergegeven.

.....
 Tabel 7: Samenstelling filterlagen.

Filterlagen Laag	Filterlagen				Toetsen	
	Dn15	Dn50	Dn85	D85/D15	D15f > 5x D15b	D15f < 5x D85b
Filterlaag 1 [mm]	12.0	20.0	33.3	2.8	5.0	13.9
Grof zand [mm]	1.0	1.7	2.8	2.8		

C.2.4 Overige aspecten open verbinding

Bij de inpassing van een open verbinding tussen de Nieuwe Merwede en de kreek van het doorstroomgebied dienen een aantal kanttekeningen geplaatst te worden:

- Het sediment, dat vanuit het kanaal de Noordwaard wordt ingevoerd, kan mogelijk ernstige sedimentatie veroorzaken aan de uitstroomzijde van het kanaal.
- Ruimtelijk gezien is het niet eenvoudig om een dergelijk kanaal te combineren met de doorgangen onder de Bandijk.
- Ter hoogte van of net voor de instroomopening van de open verbinding kan ernstige erosie optreden.

C.3 Kreek met alluviale bodem

Het is interessant om te onderzoeken of het mogelijk is een kreek met een onbeschermde, alluviale bodem te realiseren. In het kader hiervan worden drie aspecten onderzocht.

- De toevoer van sediment vanuit de Nieuwe Merwede;
- Het evenwichtstransport van sediment door het kanaal.

C.3.1 Evenwichtstransport door kanaal

De sedimentbalans van een kanaal dat in open verbinding staat met de Nieuwe Merwede wordt bepaald door zowel de toevoer als de behoefte aan sediment. Om beide vast te stellen is gekozen voor een tweeledige aanpak waarbij eerst het sedimenttransport op de Nieuwe Merwede wordt vastgesteld én daarna de sedimentbalans van het kanaal. Bij de inname van sediment is er vanuit gegaan dat er naar evenredigheid met het debiet sediment ingelaten wordt in het kanaal. Voor sedimenttransport berekeningen is de formule van Engelund-Hansen (1967) toegepast (zie ook hoofdstuk 4 in het literatuurrapport).

Omdat de hydraulische omstandigheden niet constant zijn wordt een model beschouwd waarin voor variërende omstandigheden de morfologische effecten bepaald worden. In dit geval zijn afvoer fracties vastgesteld die quasi-statisch verondersteld zijn. Het evenwicht sedimenttransport voor elke afvoer fractie is vermenigvuldigd met de frequentie waarmee deze situatie optreed.

Ook de gevoeligheid van de morfologie voor verschillende parameters (dezelfde als in paragraaf C.2) wordt gecontroleerd.

C.3.2 Afvoer sediment Nieuwe Merwede

Met behulp van de gegevens over de kans op overschrijding van een afvoer bij Lobith gedurende het winterhalfjaar zijn de evenwichts-transporten op de Nieuwe Merwede voor verschillende fracties van de Rijnafvoer vastgesteld. In tabel 8 worden de gemiddelde debieten, waterstanden (ten opzicht van bodemniveau van NAP -4,2m) en het geschatte aantal dagen per fractie weergegeven.

Tabel 8: Fracties met karakteristieke debieten, waterstanden en duur.

Fractie	Range	Qlobith	Q Waal	Q N-M	Dagen Z&W	Waterstand
I	0-2000	1224	997	748	211,4390	5,39
II	2000-4000	2728	1864	1398	127,1956	5,67
III	4000-6000	4777	3265	2449	21,3710	6,30
IV	6000-8000	6809	4651	3488	3,8799	6,59
V	8000-10000	8789	5982	4487	0,8994	6,88
VI	10000-12000	10777	7313	5485	0,1787	7,19
VII	12000-14000	12764	8633	6475	0,0301	7,53
VIII	14000-16000	14779	9980	7485	0,0050	7,87
IX	16000-18000	16776	11311	8484	0,0009	8,20
X	18000-20000	18956	12755	9566	0,0002	8,58
totaal:					365,00	

Met behulp van bovenstaande gegevens is de sedimentlast van de Nieuwe Merwede vastgesteld.

Tabel 9: Sedimenttransport op de Nieuwe Merwede.

Sediment transport (Nieuwe Merwede)		(epsilon = 0,6)							
Fractie		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Q	[m ³ /s]	748	1398	2449	3488	4487	5485	6475	7485
waterdiepte	[m]	5,39	5,67	6,296107	6,586451	6,875761	7,193194	7,53	7,87
S per jaar	[m ³]	8121	86493	141562	70514	46425	12541	3848	1064
								Sediment transport N-M	
								1.015	m ³ /dag
								370.568	m ³ /jaar

De sedimentafvoer per kubieke meter van het debiet wordt constant verondersteld, waarna met behulp van de afgevoerde debieten de toevoer van sediment naar de kreek bepaald kan worden.

C.3.3 Sedimentbalans kreek met open verbinding

De sediment balans van de kreek wordt bepaald voor de standaard situatie. Waarna hierop gevarieerd wordt om de gevoeligheid van de oplossing voor variaties in belangrijke parameters vast te stellen.

Standaard situatie

De standaard situatie omhelst een kanaal met de volgende eigenschappen:

Tabel 10: Hydraulica en (evenwichts)morfologie in de kreek voor de verschillende fracties in de referentie situatie.

Omstandigheden; Fracties:		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Breedte	[m]	6	6	6	6	6	6	6	6
H_bodem	NAP [m]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
h_buiten	[m]	1,19	1,47	2,10	2,39	2,68	2,99	3,33	3,67
h_binnen	[m]	0,842569	0,949714	1,248054	1,55	1,7	1,8	1,8	1,8
Duur	[dagen]	211,439	127,1956	21,37103	3,879924	0,899444	0,178677	0,030118	0,00503701
Lengte	[m]	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200
Sediment transport (kreek)		(Epsilon 0,6)							
s	[m3/s /m]	6,4E-07	3,4E-06	2,9E-05	3,6E-05	6,6E-05	1,3E-04	2,9E-04	5,6E-04
S	[m3/s]	3,8E-06	2,0E-05	1,7E-04	2,2E-04	3,9E-04	7,9E-04	1,7E-03	3,3E-03
Volume	[m3]	70,1	225,1	317,7	72,6	30,6	12,2	4,6	1,5
Totaal transport	[m3]	734,29							

Tabel 11: Sediment invoer in de kreek voor de verschillende fracties in de referentie situatie.

Omstandigheden; Fracties:		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
S/debiet	[m3/s]/[m3]	5,94E-07	5,63E-06	3,131E-05	6,03E-05	0,000133	0,000148	0,000228	0,000327
Debiet Kreek	[m3]	2,04E+07	2,41E+07	1,03E+07	2,31E+06	6,95E+05	1,82E+05	4,08E+04	8,70E+03
Volume	[m3/jaar]	12,15	135,94	321,18	139,00	92,49	26,91	9,32	2,84254
Tot.Sed.Invoer	[m3/jaar]	739,83							

Tabel 12: Netto sediment balans van de kreek in de referentie situatie.

Sediment transport	
Verb.Kanaal	[m3/jaar] 734,29
Erosie	[m3/jaar] -5,54
Er.diepte	[m/jaar] -0,0002

(5,5m³ is geen significante hoeveelheid en mag verwaarloosd worden)

Variëren ontwerpvariabelen

Om te kijken wat de invloed is van verschillende parameters zijn deze gevarieerd. De invloed van de ontwerpvariabelen blijkt erg groot te zijn. Daarom is gekozen voor een niet kwantitatieve weergave van de invloed van verschillende ontwerpaspecten. Aangezien dit een schijn nauwkeurigheid suggereert die in werkelijkheid niet aanwezig is. Enkele van de gevarieerde variabelen zijn:

- Lengte kanaal;
- Bodemhoogte inlaatopening kanaal;
- Breedte kanaal;
- Aanvoer sediment /Breedte Nieuwe Merwede;
- Korrelgrootte bodem materiaal;
- Chézy coëfficiënt.

Een verandering in de lengte van het kanaal heeft een iets sterker dan lineaire invloed op het bodemtransport. De invloed van deze parameter is dus vrij stabiel.

Lengte ~ ongeveer lineaire invloed op sedimenttransport

De bodemhoogte van de inlaat beïnvloed het sedimenttransport in beperkte mate. Door de bodem op NAP, NAP +0,5m of NAP +1m te leggen neemt het sedimenttransport maar enkele tientallen procenten af.

Bodemhoogte inlaat ~ minder dan evenredig invloed op sedimenttransport

De invloed van de breedte van het kanaal op de sedimentafvoer is evenredig, maar op de erosie en sedimentatie heeft een versmalling of verbreding weinig effect. Pas bij een breedte kleiner dan 2m wijzigt de sedimentatie/erosie meer dan evenredig. Pas bij relatief kleine breedtes is er dus een effect waarneembaar op de morfologie.

Breedte kanaal ~ evenredig effect op sedimenttransport, vrijwel geen effect op erosie/sedimentatie bodem

De verdeling van de aanvoer van sediment is erg afhankelijk van de duur en grootte van het debiet door de Nieuwe Merwede. Tevens speelt de stroomvoerende breedte van de Nieuwe Merwede een belangrijke rol bij de sedimenttoevoer.

Afvoer, Breedte Nieuwe Merwede ~ meer dan kwadratische invloed op sedimenttransport

Andere invloedsfactoren die een sterke rol spelen zijn o.a. de korrelgrootte van het materiaal, welke echter een mediane korreldiameter heeft van 0,35mm in de bovenloop van de Nieuwe Merwede. Dit is vergeleken met het zand in Boven en Beneden Merwede relatief fijn, waardoor relatief veel sediment in het evenwichtstransport betrokken wordt.

Korrelgrootte ~ meer dan kwadratische invloed op sedimenttransport

De ruwheid van het kanaal heeft een grote invloed op de stroomsnelheden en daarom ook op het sedimenttransport in het kanaal. De invloed van de parameter is groot en relatief onzeker. Alhoewel het bodemreliëf bepaald kan worden in samenhang met de snelheden, waarna een ruwheidfactor bepaald kan worden voor de het reliëf van de bodem.

Chézy coëfficiënt/Bodem reliëf ~ meer dan kwadratische invloed op sedimenttransport

Uit de analyse komt naar voren dat:

.....
Tabel 13: Gevoeligheid ontwerp open verbinding met alluviale bodem voor ontwerpparameters.

- Onder complementaire lengte wordt de lengte van het kanaal verstaan, waarbij morfologisch een nieuw evenwicht optreedt.

Maatregel	Invloed sed. balans* (t.o.v. referentie)		Invloed sed./erosie* [mm/jaar]	Complemen. Lengte [m]
	Onder-	en bovengrens		
Bodemhoogte NAP**	+80%	t/m +50%	-10	4700
Bodemhoogte +1m NAP**	-60%	t/m -40%	+5	3500
Breedte 4 m	-50%	t/m -40%	+7	3700
Breedte 8 m	+60%	t/m +40%	-5	4600
Korrelgrootte 0,7mm	-50%	t/m -50%	0	4200
Korrelgrootte 0,1mm	+250%	t/m +250%	+1	4300
Chézy coëfficiënt (=50)	+55%	t/m +25%	-9	4700
Chézy coëfficiënt (=35)	-25%	t/m -15%	+3	3900

* Sedimentatie (+) / Erosie (-)

** Aanpassing van de bodemhoogte zal waarschijnlijk weinig effectief zijn, aangezien de toevoer van sediment belemmerd of bevorderd wordt door een andere bodemligging bij de toegang.

C.4 Inlaatconstructie

In de literatuurstudie wordt beschreven dat verschillende constructies de sedimentverdeling op een splitsing kunnen beïnvloeden (Ankum & Brouwer, 1993). Het is daarbij mogelijk het gemiddelde sedimenttransport per eenheid van het debiet te verlagen of verhogen. Tevens speelt de plaatsing van de inlaat in een bocht een rol, de bochtstroming vergroot of verkleint het sediment aandeel in de afvoer.

Tabel 14: Effect bochtstroming op sedimenttoevoer kanaal

Maatregel	Invloed locatie wateronttrekking op bodemtransport	
Kwart binnenbocht	50% debiet	100 % bodemtransport
Begin buitenbocht	50% debiet	100 % bodemtransport
Helft buitenbocht	50% debiet	25 % bodemtransport
Einde buitenbocht	50% debiet	0 % bodemtransport

De meeste relevante maatregelen zijn:

- Lange constructie -> Weinig sediment (langwerpig recht);
- Gibb's Groyne -> Evenredig sediment (gebogen kort);
- Rechte krib -> Vergroting spiraal stroming en sedimenttoevoer;
- Bodemschermen.

C.5 Conclusie

De berekende situatie geldt voor een positief scenario, waarbij:

- Het sediment (bodemtransport) naar de kreek evenredig verdeeld wordt. Dit is niet waarschijnlijk aangezien de inlaat behoorlijk hoog ligt en tevens de bochtstroming het sedimenttransport vermindert.
- De berekening geeft slechts het 1^e orde effect van erosie of sedimentatie weer. Na verloop van tijd zouden 2^e orde effecten het systeem kunnen beïnvloeden. Het is mogelijk dat het proces van erosie zichzelf versterkt, doordat het kanaal verdiept wordt.
- Er wordt vanuit gegaan dat er geen sediment wordt opgewoeld in de uiterwaard/kribvakken (die sterk vervuild zijn).

Gesteld kan worden dat:

- Een dergelijk kanaal relatief lang moet zijn, namelijk 4 kilometer of meer, wat aanzienlijke kosten met zich mee kan brengen, en lastiger in te passen is.
- De breedte van de geul beïnvloed het sedimenttransport, maar de erosiesnelheid van de bodem (mm/jaar) blijft gelijk.
- Aanzienlijke hoeveelheden sediment zich bij de benedenstroomse monding van het kanaal kunnen ophopen.

Voorgaande is relatief goed oplosbaar door de lengte van het kanaal aan te passen. Minder eenvoudig zijn de onzekerheden in de hydraulische omstandigheden en de lokale morfologische effecten:

- Enkele droge of natte jaren kunnen een grote invloed hebben op het systeem. De stabiliteit van het kanaal blijft dan ook een probleem.
- De onzekerheid in de uitkomsten van de berekening is vrij groot. Kleine wijzigingen in hydraulische omstandigheden kunnen een groot effect hebben op de morfologie.

D.1 Locaties waterstanden

Om een beeld te krijgen van de omstandigheden in het nog te realiseren doorstroomgebied Noordwaard, is gekeken naar bestaande metingen van waterstanden bij de meetpunten Deeneplaat en Werkendam buiten. Met behulp van de waterstanden bij de Deeneplaat kan een redelijke schatting gegeven worden van de waterstanden, binnen het doorstroomgebied, bij lage en middelgrote Rijnafoeren. Aangezien de inlaat onder deze omstandigheden nog geen water onttrekt aan de Nieuwe Merwede. De waterstanden bij Werkendam buiten geven een beeld van de frequentie waarmee de overlaat water inlaat. In hoofdstuk 13 van het hoofdrapport worden de belangrijkste conclusies uit dit onderzoek aangehaald.

Om een goede schatting te kunnen geven van de waterstanden, voor de Deeneplaat, zijn de uurwaterstanden over de periode 1971-2000 bekeken. Voor Werkendam buiten is data van 1980 t/m 2000 gebruikt. Deze data is per maand gescheiden en bewerkt tot een aantal overzichten:

- Een histografische weergave van de waterstanden per maand;
- Gemiddelde duur van een maximum dagoverschrijding;
- Overzicht frequentie van waterstanden per maand.

Deeneplaat

Het meetstation Deeneplaat ligt aan het zuidende van het Gat van de Visschen. Deze geul van de Biesbosch ligt tussen het Hollands Diep en het zuidelijk deel van de Noordwaard. Met behulp van de gegevens bij Deeneplaat kan de hydraulische situatie in de Noordwaard benaderd worden, voor de situatie waarin de Noordwaard geen water onttrekt uit de Nieuwe Merwede.

Werkendam buiten

Het meetpunt Werkendam buiten ligt enkele honderden meters van de inlaatconstructie van de Noordwaard. De meetgegevens op deze locatie geven inzicht in de frequentie en duur van de inundatie van het doorstroomgebied vanuit de Nieuwe Merwede. Voor dit gebied is geen gemiddelde overschrijdingsduur van maximumwaterstanden vastgesteld, omdat naast de getijde cyclus ook hoogwatergolven een rol spelen in de maximum dagwaterstanden. Hierdoor kan de invloed van de afzonderlijke componenten niet meer onderscheiden worden.

D.2 Histogramfisch overzicht

De waterstanden bij Deeneplaat en Werkendam buiten worden per maand gescheiden. In tabel 1 en 2 wordt het gemiddeld aantal overschrijdingen per maand voor een specifieke maand in het jaar weergegeven.

D.2.1 Uurwaterstanden

De tabellen 1 & 2 geven het volgende weer:

- Gemiddeld aantal uren per maand dat een uurwaterstand een bepaald peil (in meters t.o.v. NAP) overschrijdt.

Voorbeeld: Uit tabel 1 valt af te lezen dat een waterstand van NAP +0,7m in een oktober maand gemiddeld door 145 uurwaarnemingen wordt overschreden.

Tabel 1: Histogramfisch overzicht van het aantal overschrijdingen van uurwaterstanden op meetpunt Deeneplaat (1971-2000).

Deeneplaat Overschrijding uurwaterstanden 1971-2000												
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
-0.1	739.87	675.43	740.21	719.97	744.00	720.00	743.97	744.00	719.83	742.30	718.26	741.97
0	734.80	669.34	734.09	719.10	743.76	719.97	743.73	743.87	719.77	736.03	714.29	738.76
0.3	632.89	536.03	607.16	591.65	629.54	643.33	666.45	673.47	641.03	610.37	630.53	649.48
0.4	544.93	436.57	492.37	456.29	476.19	518.86	545.16	547.12	521.23	495.66	548.87	562.23
0.5	432.86	327.62	357.02	301.36	284.41	347.52	361.34	360.16	362.15	357.79	437.97	456.13
0.6	318.11	230.76	235.47	165.17	132.55	173.58	180.65	176.99	204.37	234.77	322.51	344.63
0.7	222.95	156.46	147.89	80.77	44.18	63.74	70.47	62.19	99.08	144.83	220.12	247.38
0.8	154.59	99.99	89.37	38.25	13.52	17.22	22.69	20.22	45.46	84.50	143.57	166.86
1	68.36	39.72	28.33	8.14	1.49	0.94	1.23	2.40	9.80	23.94	52.23	66.54
1.2	26.18	13.46	6.59	1.40	0.00	0.03	0.13	0.00	2.70	6.94	16.92	23.35
1.6	3.23	1.93	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.47	1.10

Tabel 2: Histogramfisch overzicht van het aantal overschrijdingen van uurwaterstanden op meetpunt Werkendam buiten (1980-2000).

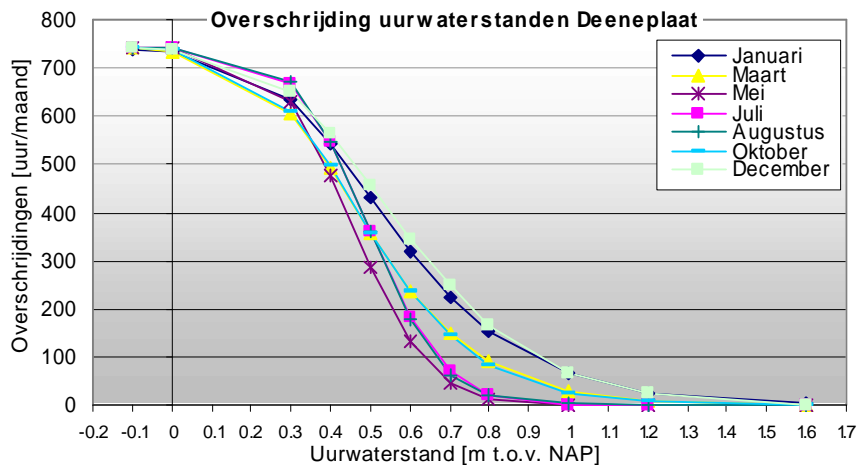
Werkendam Overschrijding uurwaterstanden 1980-2000												
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0	741.86	675.11	740.82	719.90	744.00	720.00	744.00	744.00	720.00	739.91	715.91	742.71
0.2	732.36	662.27	727.48	713.77	740.86	719.67	744.00	738.72	708.36	716.20	696.10	732.77
0.4	701.85	605.74	672.17	661.12	676.61	689.44	714.20	659.60	622.76	620.96	634.60	683.69
0.6	602.71	478.36	535.21	520.68	474.77	524.91	492.17	402.77	389.94	434.38	493.35	575.50
0.8	447.07	342.17	371.86	325.45	220.80	279.45	210.82	143.10	155.64	238.43	301.50	422.19
1	306.30	241.67	236.58	155.93	58.74	102.56	62.21	30.80	41.35	101.47	147.09	273.69
1.2	197.42	166.61	145.92	67.96	11.41	37.50	21.62	4.51	9.08	36.40	61.88	161.12
1.4	124.85	103.06	91.48	31.51	4.90	18.39	10.31	0.00	2.66	13.54	27.61	88.77
1.6	78.56	60.99	54.92	19.49	3.52	7.89	3.28	0.00	0.57	5.89	14.97	46.31
2	27.80	22.18	14.55	11.36	1.95	3.56	0.00	0.00	0.00	0.19	7.41	9.90
2.4	4.23	5.02	4.34	3.66	1.33	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85	4.00

Deze tabellen zijn ook als figuren weer te geven (figuur 1 en 2):

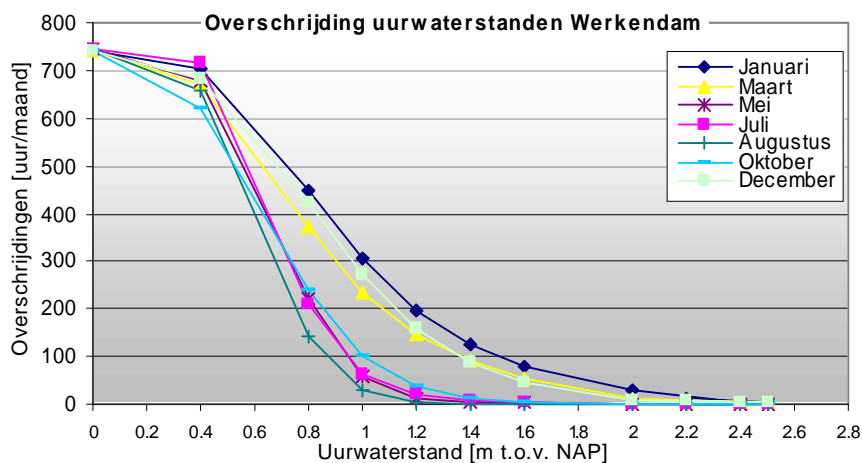
- Gemiddeld aantal uren per maand (verticaal) dat een uurwaterstand een bepaald peil (horizontaal: in meters t.o.v. NAP) overschrijdt.

Voorbeeld: Uit figuur 1 valt af te lezen dat een waterstand van NAP +0,7m in maart en oktober gemiddeld circa 150x per maand door uurwaarnemingen wordt overschreden.

Figuur 1: Histogramfisch overzicht van de uur overschrijdingen bij de Deeneplaat (1971-2000).



Figuur 2: Histogramfisch overzicht van de uur overschrijdingen bij Werkendam buiten (1980-2000).



D.2.2 Maximum dagwaterstanden

Omdat met behulp van de uurwaterstanden nog niet duidelijk is of uurwaterstanden gedurende één dag of over meerdere dagen verspreid optreden, is de data bewerkt tot maximum waterstanden die dagelijks kunnen optreden. Tabel 3 en 4 geven weer:

- Gemiddeld aantal dagen per maand dat een maximum dagwaterstand een bepaald peil (in meters t.o.v. NAP) overschrijdt.

Voorbeeld: Uit tabel 3 valt af te lezen dat een waterstand van NAP +0,7m in een oktober maand gemiddeld door 14 maximum dagwaterstanden wordt overschreden (meerdere overschrijdingen op dezelfde dag worden als 1 dag aangemerkt).

Tabel 3: Histogramfisch overzicht van het aantal overschrijdingen van maximum dagwaterstanden op meetpunt Deeneplaat (1971-2000).

Deeneplaat	Overschrijding dagmaxima 1971-2000											
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
-0.1	31.00	28.25	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
0	30.97	28.22	30.93	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	29.97	30.97
0.3	30.17	27.62	29.93	29.93	30.97	30.00	31.00	30.83	29.97	29.57	29.40	30.40
0.4	28.90	25.68	28.87	28.83	29.98	29.77	30.33	30.20	29.00	27.90	28.37	29.70
0.5	26.87	22.75	25.67	26.07	25.92	27.56	28.07	27.40	25.77	24.07	26.50	27.30
0.6	23.97	18.36	20.43	20.00	18.58	21.10	20.73	20.47	19.80	19.23	22.93	24.27
0.7	19.77	14.89	15.80	12.43	10.15	12.04	12.27	10.43	12.27	14.03	17.97	20.40
0.8	15.20	11.66	12.10	7.03	4.77	5.95	6.73	4.47	6.40	9.90	14.03	16.17
1	8.63	6.20	5.70	2.93	1.46	1.34	1.00	0.87	1.77	3.97	7.17	9.53
1.2	4.73	2.83	2.70	0.63	0.37	0.17	0.07	0.07	0.43	1.47	3.20	5.17
1.6	0.73	0.80	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.27	0.60	0.53

Tabel 4: Histogramfisch overzicht van het aantal overschrijdingen van maximum dagwaterstanden op meetpunt Werkendam buiten (1980-2000).

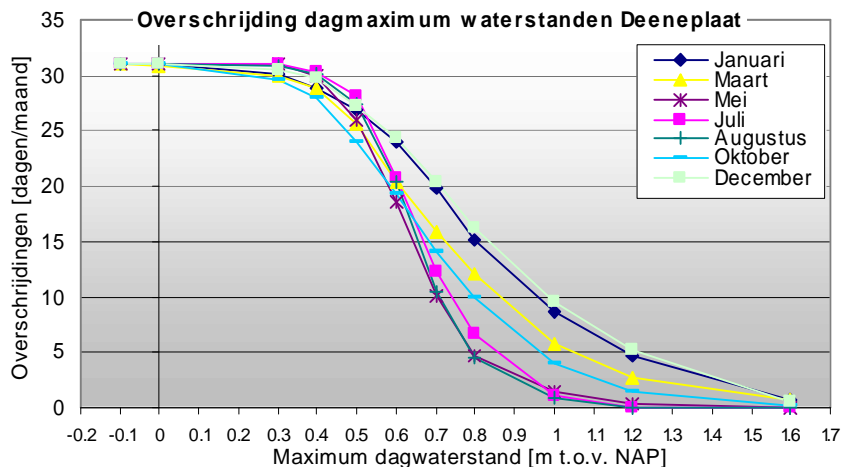
Werkendam Overschrijding dagmaxima 1980-2000												
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0	31.00	28.20	30.95	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	30.95
0.2	30.67	28.11	30.86	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	30.81	29.81	30.95
0.4	30.19	27.44	30.10	29.57	30.95	29.81	30.95	30.71	29.38	30.05	29.00	30.52
0.6	28.19	25.21	28.33	26.24	27.14	27.43	28.10	26.14	24.90	26.14	26.76	27.86
0.8	24.10	18.45	20.67	20.90	19.00	20.52	19.48	15.71	16.00	17.38	20.00	23.24
1	18.14	13.46	14.14	12.71	7.10	9.62	6.52	4.24	5.43	9.33	11.57	16.33
1.2	12.52	10.13	8.95	5.86	1.24	2.90	2.00	1.05	1.19	4.29	5.57	11.05
1.4	8.86	6.90	5.14	2.86	0.29	1.48	0.81	0.00	0.33	1.48	2.14	6.19
1.6	5.43	4.19	3.19	1.10	0.19	0.52	0.43	0.00	0.10	0.57	0.71	3.67
2	2.00	1.57	0.62	0.62	0.10	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
2.4	0.333	0.238	0.286	0.333	0.095	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.238

Deze tabellen zijn ook als figuren weer te geven (figuur 3 en 4):

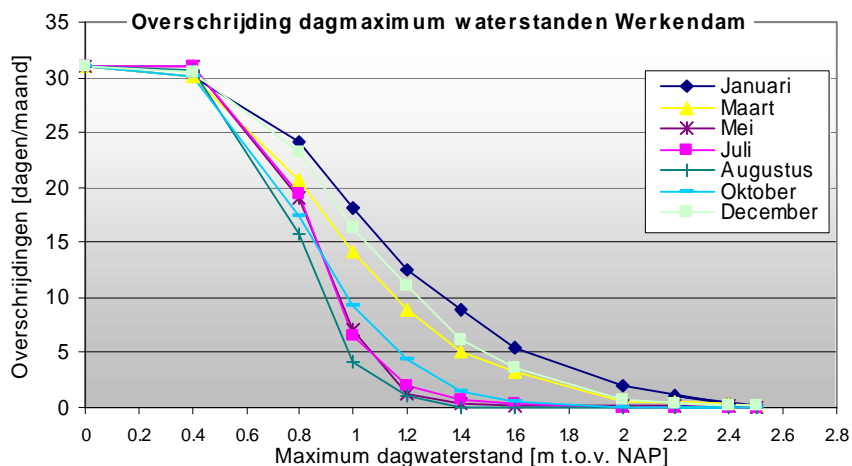
- Gemiddeld aantal dagen per maand (verticaal) dat een maximum dagwaterstand een bepaald peil (horizontaal: in meters t.o.v. NAP) overschrijdt.

Voorbeeld: Uit figuur 3 valt af te lezen dat een waterstand van NAP +0,7m in oktober gemiddeld circa 14 dagen wordt overschreden.

Figuur 3: Histogramfisch overzicht van het aantal dagen dat een peil overschreden wordt bij de Deeneplaat (1971-2000).



Figuur 4: Histogramfisch overzicht van het aantal dagen dat een peil overschreden wordt bij Werkendam buiten (1980-2000).



D.2.3 Minimum dagwaterstanden

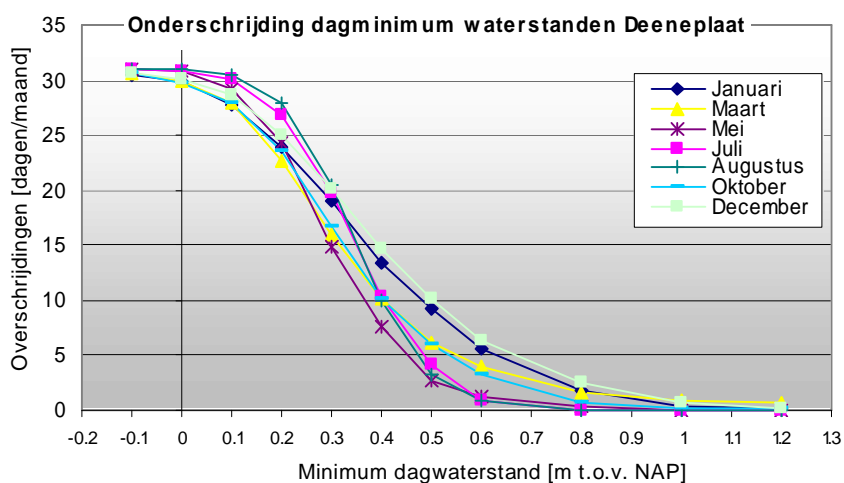
Het kan voor beheer of landbouw interessant zijn wat de laagste waterstand is die op een dag optreedt. Ten behoeve hiervan worden minimum dagwaterstanden (tabel 5) weergegeven, dit betreft:

- Gemiddeld aantal dagen per maand dat een minimum dagwaterstand een bepaald peil (in meters t.o.v. NAP) onderschrijdt (meerdere onderschrijdingen op dezelfde dag worden als 1 dag aangemerkt).

Tabel 5: Histogrammisch overzicht van het aantal onderschrijdingen van minimum dagwaterstanden op meetpunt Deeneplaat (1971-2000)

Deeneplaat		Overschrijding dagminima 1971-2000											
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December	
-0.1	30.43	27.55	30.57	30.00	31.00	30.00	30.97	31.00	29.97	30.67	29.67	30.60	
0	29.87	26.35	29.83	29.67	30.83	29.97	30.83	30.97	29.97	29.70	29.17	30.17	
0.1	27.67	23.35	27.93	27.47	29.17	29.23	30.13	30.50	29.07	27.97	27.50	28.70	
0.2	23.90	19.29	22.60	21.47	24.33	25.69	26.87	27.97	26.10	23.60	24.87	25.03	
0.3	19.07	13.43	16.00	13.50	14.82	17.49	19.70	20.53	19.53	16.77	20.10	20.10	
0.4	13.50	9.13	10.23	7.53	7.55	9.36	10.33	9.90	10.70	10.07	14.50	14.67	
0.5	9.17	5.96	6.17	3.73	2.71	3.61	4.23	3.27	4.63	5.97	9.97	10.10	
0.6	5.60	3.50	3.93	2.03	1.29	1.44	0.93	0.90	1.90	3.27	6.30	6.30	
0.8	1.87	1.43	1.57	0.30	0.41	0.17	0.03	0.03	0.23	0.67	2.37	2.53	
1	0.43	0.53	0.87	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.20	0.83	0.73	
1.2	0.10	0.30	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.40	0.23	

Figuur 5: Histogrammisch overzicht van het aantal dagen dat een peil overschreden wordt bij de Deeneplaat (1971-2000).



D.2.4 Gemiddelde overschrijdingsduur

Met behulp van de histogrammische informatie kan de gemiddelde overschrijdingsduur van een waterstand per dag bepaald worden. Hiervoor dient het gemiddeld aantal uren per maand dat een waterstand overschreden wordt, gedeeld te worden door de frequentie van de maximum dagoverschrijdingen. Deze methode kan bij Werkendam echter niet toegepast worden, omdat de dagelijkse verschillen in waterhoogte door hoogwatergolven soms groter zijn dan de dynamiek van het getij.

Voorbeeld: Bij een maximum dagwaterstand van NAP +0,7 meter in de maand oktober hoort een gemiddelde overschrijdingsduur van 10,3 uur per gebeurtenis.

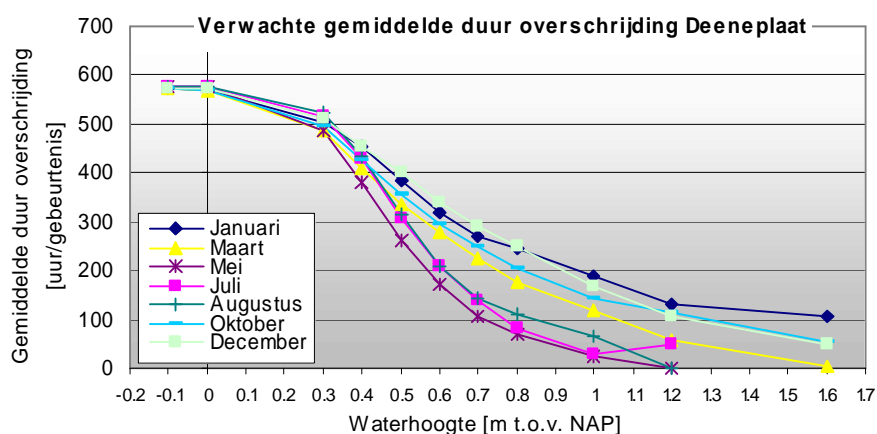
Tabel 6: Gemiddelde overschrijdingsduur voor verschillende maanden (in uren per gebeurtenis, waterstand t.o.v. NAP).

Deeneplaat	Gemiddelde duur dagmaximum waterstand 1971-2000											
waterstand	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
-0.1	23.8666	23.9092	23.8778	23.9989	24	24	23.9989	24	23.9944	23.9451	23.9422	23.9344
0	23.7286	23.7213	23.7315	23.97	23.9923	23.9989	23.9914	23.9957	23.9922	23.7429	23.8363	23.8567
0.3	20.9799	19.4094	20.2838	19.7655	20.3301	21.4442	21.4985	21.8423	21.3913	20.644	21.4466	21.3644
0.4	18.8557	16.9973	17.0567	15.8251	15.8811	17.4312	17.9724	18.1167	17.9735	17.7654	19.3491	18.9302
0.5	16.1112	14.3989	13.9099	11.5611	10.9712	12.6103	12.8743	13.1444	14.055	14.8668	16.5273	16.7081
0.6	13.2732	12.5717	11.5237	8.25844	7.13412	8.22497	8.71316	8.64781	10.3218	12.2065	14.0628	14.202
0.7	11.2789	10.5071	9.36037	6.496	4.35181	5.29423	5.74505	5.96061	8.07748	10.3205	12.2517	12.1263
0.8	10.1703	8.57555	7.38555	5.43828	2.83314	2.89207	3.36981	4.52644	7.10258	8.53581	10.2304	10.3215
1	7.9179	6.40955	4.97096	2.77388	1.02447	0.70107	1.23461	2.77171	5.55	6.03632	7.2875	6.97959
1.2	5.53015	4.75364	2.44198	2.21145	0	0.20031	2.00206	0	6.23394	4.72939	5.28737	4.51876
1.6	4.41067	2.41702	0.14491	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	2.25101	0.77868	2.0637

* De gegevens met N/A zijn niet beschikbaar omdat de frequentie van een dergelijke gebeurtenis te laag is, waardoor te weinig data beschikbaar is.

In de volgende figuur wordt bovenstaande tabel grafisch weergegeven.

Figuur 6: Verwachte gemiddelde overschrijdingsduur per gebeurtenis, voor verschillende maanden.



Uitgangspunt van bovenstaande methode is dat de maximum dagwaterstand als één enkele gebeurtenis (overschrijding per dag) wordt gezien. In een aantal gevallen zal de maximum dagwaterstand echter de hoogste zijn van twee dagelijkse maxima, waardoor het maximum daeigenlijk twee gebeurtenissen omvat. De gegeven duur is dan ook een bovengrens. Dit geldt met name voor de gemiddelde overschrijdingsduren die kleiner zijn dan 3 uur, aangezien een gemiddelde inundatie door het getij een dergelijke duur kent.

D.3 Frequentie waterstanden

Met behulp van de 'stastical analysis toolbox' in Excel kan voor willekeurige percentiel waarden van de dataset de uur- of maximum dagwaterstand bepaald worden. Dit is interessant als vanuit een frequentie gezocht wordt naar de karakteristieke waterstand.

D.3.1 Uurwaterstanden

De verwachte uurwaterstanden (in meters t.o.v. NAP) bij verschillende overschrijdingsfrequenties (in uur per maand) zijn weergegeven in tabel 7 en 8.

Voorbeeld: Uit tabel 7 valt af te lezen dat in oktober gemiddeld 24 uur een waterstand van NAP +1 meter wordt overschreden.

Tabel 7: Verwachte uurwaterstanden, voor een maand van het jaar, die met een bepaalde frequentie een kritisch peil overschrijd, bij meetpunt Deeneplaat (1971-2000).

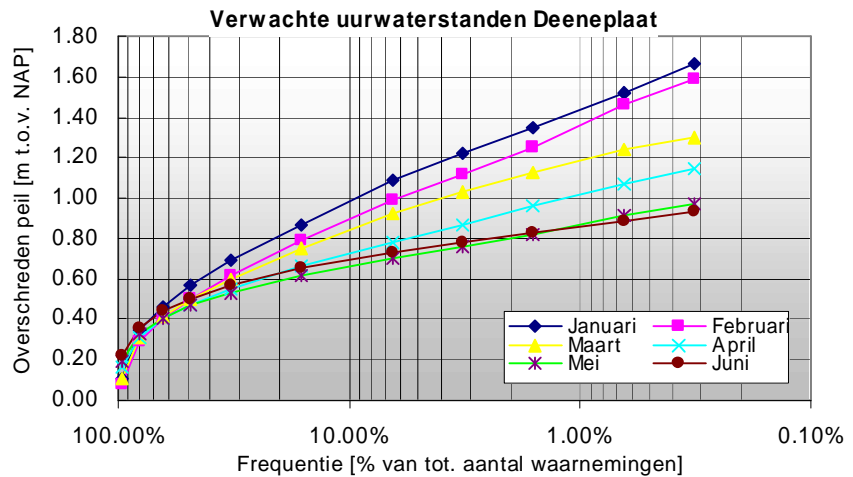
Deeneplaat		Verwachte uurwaterstanden 1971-2000											
Percentiel	frequentie	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0.32%	2.4x/mnd	1.67	1.58	1.30	1.15	0.97	0.93	0.96	1.00	1.22	1.39	1.45	1.52
0.65%	4.8x/mnd	1.52	1.47	1.24	1.07	0.91	0.89	0.92	0.94	1.11	1.27	1.38	1.44
1.61%	12x/mnd	1.35	1.25	1.13	0.96	0.82	0.83	0.86	0.86	0.99	1.12	1.26	1.31
3.23%	24x/mnd	1.22	1.12	1.03	0.87	0.76	0.78	0.80	0.79	0.90	1.00	1.16	1.20
6.45%	48x/mnd	1.09	0.99	0.92	0.78	0.70	0.73	0.74	0.73	0.80	0.90	1.03	1.07
16.13%	120x/mnd	0.87	0.79	0.75	0.66	0.62	0.65	0.65	0.65	0.68	0.74	0.85	0.88
32.26%	240x/mnd	0.69	0.62	0.60	0.55	0.53	0.57	0.57	0.57	0.59	0.60	0.69	0.71
48.39%	360x/mnd	0.57	0.50	0.50	0.47	0.47	0.50	0.51	0.51	0.51	0.50	0.58	0.59
64.52%	480x/mnd	0.46	0.40	0.41	0.40	0.40	0.44	0.44	0.44	0.44	0.42	0.48	0.48
80.65%	600x/mnd	0.35	0.29	0.31	0.31	0.33	0.36	0.37	0.37	0.36	0.32	0.37	0.37
96.77%	720x/mnd	0.11	0.08	0.11	0.16	0.19	0.22	0.22	0.23	0.21	0.10	0.15	0.16

Tabel 8: Verwachte uurwaterstanden, voor een maand van het jaar, die met een bepaalde frequentie een kritisch peil overschrijd, bij meetpunt Werkendam buiten (1980-2000).

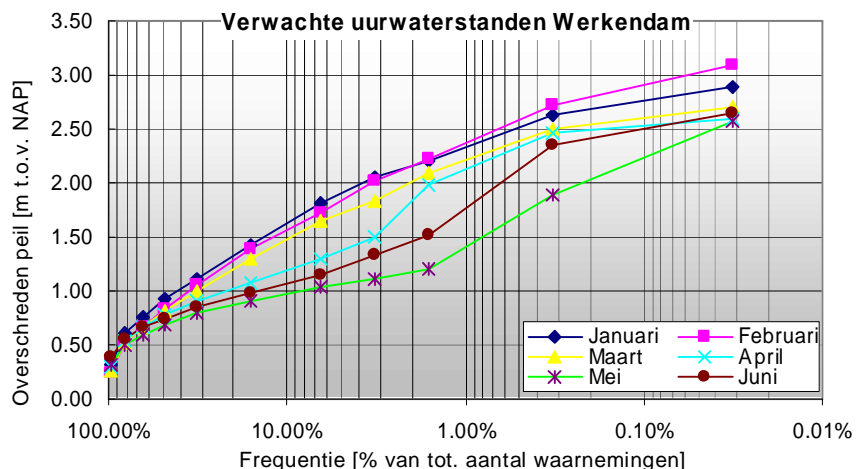
Werkendam		Verwachte uurwaterstanden 1980-2000											
Percentiel	frequentie	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0.03%	.2x/mnd	2.88	3.08	2.71	2.59	2.57	2.64	1.81	1.33	1.67	1.99	2.70	2.75
0.32%	2.4x/mnd	2.64	2.72	2.49	2.46	1.88	2.36	1.63	1.25	1.43	1.75	2.52	2.54
1.61%	12x/mnd	2.20	2.23	2.10	1.99	1.20	1.52	1.37	1.11	1.18	1.43	1.76	1.96
3.23%	24x/mnd	2.05	2.01	1.84	1.50	1.12	1.34	1.18	1.03	1.08	1.28	1.45	1.78
6.45%	48x/mnd	1.81	1.73	1.65	1.30	1.03	1.15	1.05	0.95	0.99	1.15	1.28	1.59
16.13%	120x/mnd	1.42	1.38	1.29	1.07	0.90	0.98	0.89	0.83	0.85	0.97	1.06	1.30
32.26%	240x/mnd	1.12	1.06	1.00	0.90	0.79	0.85	0.78	0.72	0.73	0.80	0.88	1.06
48.39%	360x/mnd	0.93	0.83	0.82	0.78	0.69	0.75	0.70	0.64	0.64	0.68	0.76	0.89
64.52%	480x/mnd	0.76	0.66	0.67	0.66	0.60	0.66	0.61	0.55	0.55	0.56	0.64	0.73
80.65%	600x/mnd	0.61	0.51	0.52	0.54	0.50	0.56	0.53	0.46	0.45	0.43	0.49	0.57
96.77%	720x/mnd	0.32	0.25	0.26	0.30	0.31	0.39	0.39	0.30	0.26	0.19	0.20	0.28

De volgende figuren geven de informatie in tabel 7 en 8 grafisch weer.

Figuur 7: Verwachte uurwaterstanden per maand bij Deeneplaat (in meters t.o.v. NAP, frequentie als percentage van het aantal waarnemingen).



Figuur 8: Verwachte uurwaterstanden per maand bij Werkendam buiten (in meters t.o.v. NAP, frequentie als percentage van het aantal waarnemingen).



In figuur 8 is duidelijk te zien dat er meerdere factoren zijn die de waterstanden bij Werkendam buiten beïnvloeden, namelijk:

- Getijde werking;
- Hoogwatergolven.

D.3.2 Maximum dagwaterstanden

De verwachte maximum dagwaterstanden (in meters t.o.v. NAP) bij verschillende overschrijdingsfrequenties worden in tabel 9 en 10 weergegeven.

Voorbeeld: Uit tabel 8 valt af te lezen dat in oktober gemiddeld 1x/maand, een maximum dagwaterstand van NAP +1,27 meter wordt overschreden.

Tabel 9: Verwachte maximum dagwaterstanden, voor een maand van het jaar, die met een bepaalde frequentie een kritisch peil overschrijden, bij meetpunt Deeneplaat (1971-2000).

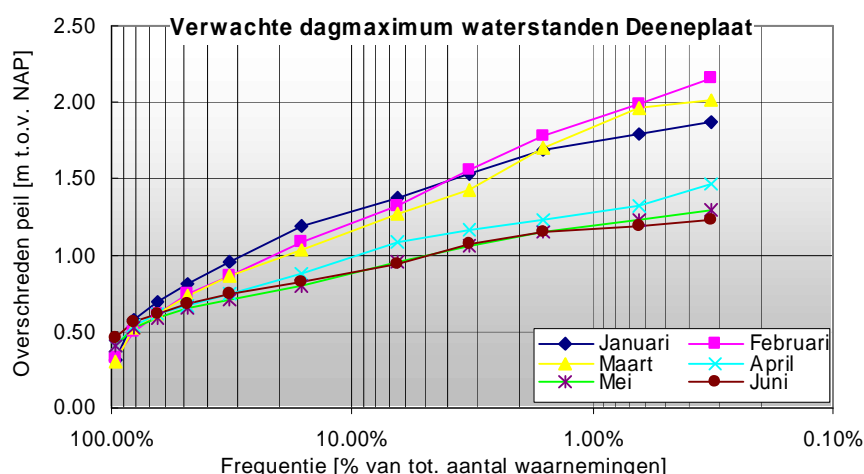
Deeneplaat		Verwachte maximum dagwaterstand 1971-2000											
Percentiel	frequentie	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0.32%	0.1x/mnd	1.87	2.17	2.02	1.46	1.29	1.23	1.19	1.16	1.51	1.84	2.53	1.87
0.65%	0.2x/mnd	1.79	2.00	1.96	1.33	1.23	1.19	1.14	1.12	1.36	1.68	2.16	1.84
1.61%	0.5x/mnd	1.69	1.78	1.70	1.23	1.15	1.15	1.05	1.04	1.20	1.41	1.68	1.62
3.23%	1x/mnd	1.53	1.55	1.43	1.16	1.06	1.07	1.00	0.96	1.07	1.27	1.49	1.54
6.45%	2x/mnd	1.37	1.32	1.27	1.08	0.95	0.94	0.94	0.89	1.00	1.15	1.33	1.44
16.13%	5x/mnd	1.19	1.08	1.04	0.88	0.80	0.83	0.84	0.79	0.85	0.95	1.10	1.21
32.26%	10x/mnd	0.95	0.87	0.86	0.75	0.71	0.75	0.74	0.71	0.75	0.80	0.91	0.99
48.39%	15x/mnd	0.81	0.74	0.73	0.67	0.65	0.68	0.67	0.66	0.67	0.68	0.79	0.84
64.52%	20x/mnd	0.70	0.61	0.62	0.61	0.59	0.62	0.61	0.61	0.61	0.59	0.68	0.72
80.65%	25x/mnd	0.58	0.50	0.53	0.54	0.52	0.56	0.56	0.55	0.54	0.49	0.57	0.59
96.77%	30x/mnd	0.32	0.33	0.30	0.40	0.41	0.46	0.44	0.41	0.40	0.26	0.35	0.38

Tabel 10: Verwachte maximum dagwaterstanden, voor een maand van het jaar, die met een bepaalde frequentie een kritisch peil overschrijden, bij meetpunt Werkendam buiten (1971-2000).

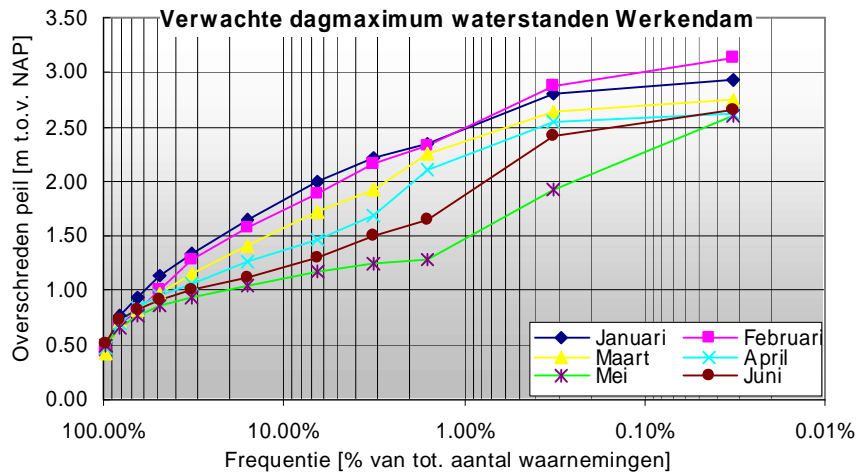
Werkendam		Verwachte maximum dagwaterstand 1980-2000											
Percentiel	frequentie	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0.03%	0.01x/mnd	2.93	3.13	2.75	2.61	2.59	2.66	1.94	1.37	1.71	1.96	1.91	2.80
0.32%	0.1x/mnd	2.81	2.87	2.64	2.55	1.93	2.42	1.80	1.33	1.59	1.83	1.86	2.61
1.61%	0.5x/mnd	2.35	2.32	2.25	2.10	1.29	1.64	1.55	1.27	1.35	1.64	1.63	2.11
3.23%	1x/mnd	2.21	2.17	1.93	1.69	1.24	1.51	1.34	1.21	1.24	1.46	1.56	1.97
6.45%	2x/mnd	2.00	1.89	1.72	1.46	1.17	1.31	1.20	1.11	1.15	1.34	1.42	1.78
16.13%	5x/mnd	1.65	1.57	1.41	1.26	1.05	1.12	1.05	0.97	1.03	1.16	1.22	1.49
32.26%	10x/mnd	1.33	1.28	1.16	1.07	0.94	1.00	0.91	0.88	0.90	0.98	1.08	1.24
48.39%	15x/mnd	1.13	1.00	0.97	0.96	0.87	0.91	0.85	0.81	0.83	0.88	0.93	1.04
64.52%	20x/mnd	0.93	0.81	0.82	0.84	0.77	0.83	0.80	0.75	0.74	0.75	0.82	0.92
80.65%	25x/mnd	0.77	0.70	0.71	0.70	0.66	0.73	0.70	0.63	0.62	0.62	0.70	0.74
96.77%	30x/mnd	0.44	0.44	0.43	0.47	0.50	0.52	0.53	0.46	0.44	0.41	0.40	0.50

De volgende figuren geven de informatie in tabel 9 & 10 grafisch weer.

Figuur 9: Verwachte maximum dagwaterstanden per maand bij Deeneplaat (in meters t.o.v. NAP, frequentie als percentage van het aantal waarnemingen)



.....
 Figuur 10: Verwachte maximum dagwaterstanden per maand bij Werkendam buiten (in meters t.o.v. NAP, frequentie als percentage van het aantal waarnemingen)



D.3.3 Minimum dagwaterstanden

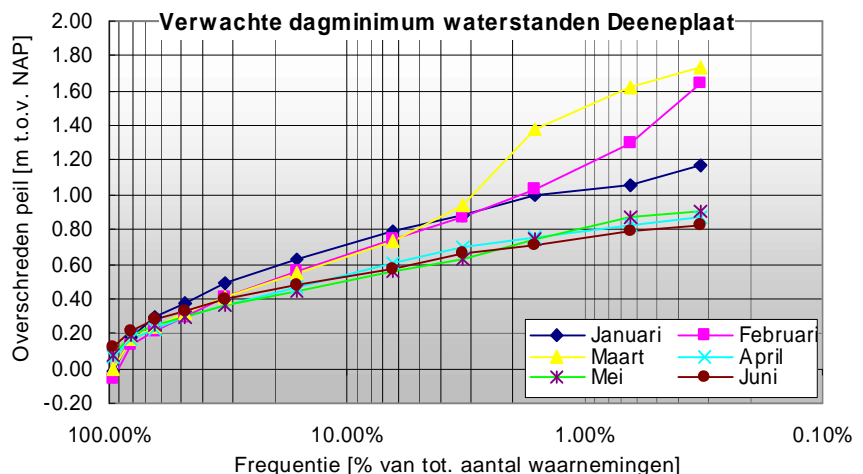
De verwachte minimum dagwaterstanden (in meters t.o.v. NAP) bij verschillende onderschrijdingsfrequenties worden weergegeven in tabel 11.

.....
 Tabel 11: Verwachte minimum dagwaterstanden, voor een maand van het jaar, die met een bepaalde frequentie een kritisch peil onderschrijden, bij meetpunt Werkendam buiten (1971-2000).

Deeneplaat		Verwachte minimum dagwaterstand 1971-2000											
Percentiel	frequentie	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus	September	Oktober	November	December
0.32%	0.1x/mnd	1.17	1.65	1.73	0.88	0.90	0.82	0.75	0.74	0.93	1.28	2.15	1.26
0.65%	0.2x/mnd	1.06	1.30	1.62	0.82	0.87	0.79	0.72	0.71	0.83	0.96	1.79	1.21
1.61%	0.5x/mnd	1.00	1.04	1.38	0.76	0.74	0.71	0.67	0.63	0.77	0.83	1.10	1.07
3.23%	1x/mnd	0.88	0.88	0.94	0.70	0.62	0.66	0.60	0.59	0.68	0.76	0.98	0.94
6.45%	2x/mnd	0.79	0.75	0.73	0.61	0.56	0.57	0.55	0.55	0.59	0.66	0.85	0.84
16.13%	5x/mnd	0.63	0.56	0.55	0.47	0.45	0.48	0.49	0.46	0.50	0.54	0.67	0.66
32.26%	10x/mnd	0.49	0.41	0.41	0.36	0.37	0.40	0.41	0.40	0.42	0.41	0.51	0.51
48.39%	15x/mnd	0.38	0.30	0.32	0.29	0.30	0.33	0.35	0.36	0.36	0.33	0.40	0.40
64.52%	20x/mnd	0.29	0.22	0.24	0.23	0.25	0.28	0.30	0.31	0.31	0.27	0.32	0.31
80.65%	25x/mnd	0.18	0.13	0.17	0.17	0.19	0.22	0.24	0.25	0.24	0.18	0.22	0.21
96.77%	30x/mnd	-0.02	-0.07	0.00	0.06	0.08	0.12	0.11	0.14	0.11	-0.02	0.01	0.02

Figuur 11 is een grafische presentatie van tabel 11.

.....
 Figuur 11: Verwachte minimum dagwaterstanden per maand bij Deeneplaat (in meters t.o.v. NAP, frequentie als percentage van het aantal waarnemingen)



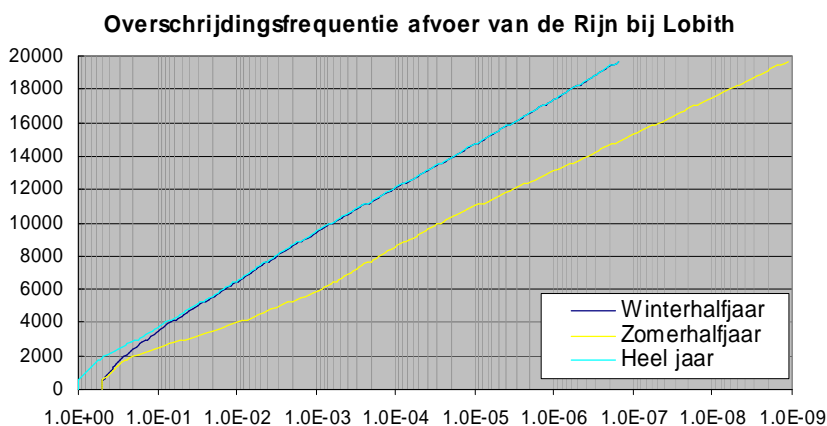
D.4 Conclusie

Het algemene beeld is dat gedurende de wintermaanden het aantal én de duur van de overschrijdingen groter is. De gemiddelde overschrijdingsduur in tabel 6 dient echter zorgvuldig toegepast te worden. Aangezien een beperkt aantal metingen én invloeden van getijde beweging en hoogwater afvoeren een grote rol spelen, bij waterstanden hoger dan NAP + 1,5 meter.

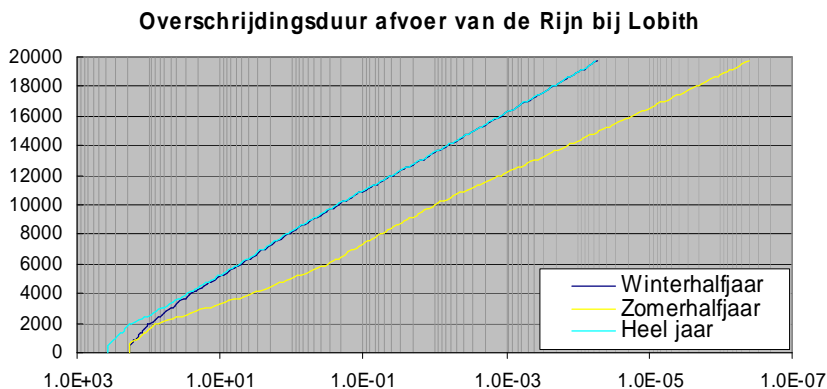
E.1 Overschrijdingsfrequenties afvoeren

Voor de Maas en voor de Rijn zijn de overschrijdingsfrequenties van de afvoeren bij Lobith en Lith weergegeven. Voor de Rijn is tevens de overschrijdingsduur weergegeven, deze kan afgeleid worden uit de overschrijdingsfrequentie.

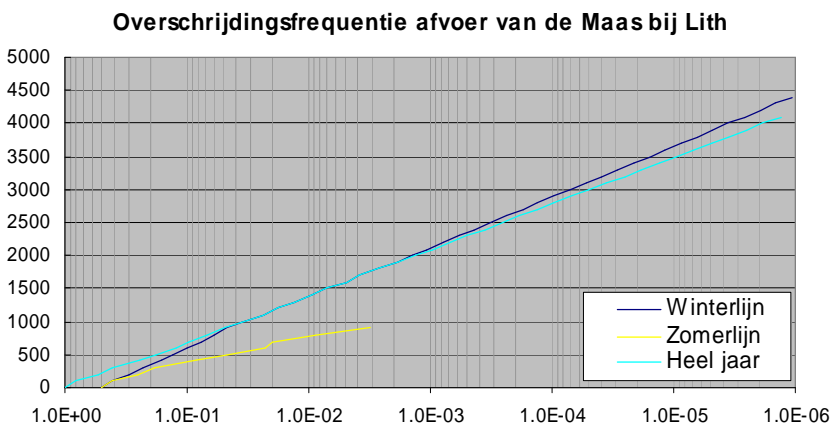
.....
 Figuur 1: Overschrijdingsfrequentie van de Rijnafvoer bij Lobith (Horizontaal: Frequentie; Verticaal: Debiet Rijn [m³/s]).



.....
 Figuur 2: Overschrijdingsduur van de Rijnafvoer bij Lobith (Horizontaal: Duur [dagen]; Verticaal: Debiet Rijn [m³/s]).



.....
 Figuur 3: Overschrijdingsfrequentie van de Maas afvoer bij Lith (Horizontaal: Frequentie; Verticaal: Debiet Maas [m³/s]).



E.2 Afvoerrelaties

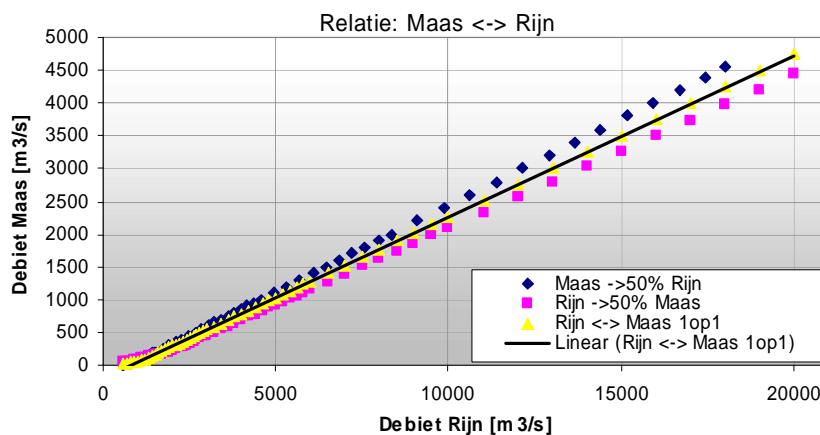
Door Fioole (1999) zijn relaties bepaald tussen de afvoeren van de grote rivieren in Nederland.

Tabel 1: Afvoerrelaties voor de Rijn takken en de Maas, in m³/s.

Qbr	Qwaal	Qlek	Qijssel	QNieuwe-Merwede	Qmaas 50%	Qmaas	Qbr 50%
600	550	25	25		55	10	600
700	600	25	75		55	20	660
800	650	25	125	377	65	30	720
900	727	25	148	416	75	40	780
1000	804	25	171	455	88	50	840
1200	978	25	197	532	114	70	960
1400	1112	25	263	588	140	90	1080
1600	1218	93	289	645	166	110	1177
1800	1301	215	284	711	192	130	1253
2000	1401	308	291	787	217	150	1329
2200	1504	390	306	863	264	170	1404
2400	1640	428	332	942	311	190	1480
2600	1776	479	345	1021	358	250	1708
2800	1913	503	384	1100	405	350	2087
3000	2049	558	393	1179	452	450	2466
3200	2178	584	438	1259	499	500	2656
3400	2307	626	467	1338	546	550	2845
3600	2435	669	496	1418	593	600	3035
3800	2566	710	524	1497	640	650	3225
4000	2697	750	553	1577	687	700	3414
4200	2826	791	583	1657	733	750	3604
4400	2954	832	614	1737	780	800	3793
4600	3084	873	643	1816	827	850	3983
4800	3214	914	672	1896	874	900	4173
5000	3345	955	700	1976	921	950	4362
5200	3475	996	729	2061	968	1000	4552
5400	3604	1037	759	2145	1015	1100	4931
5600	3735	1078	787	2230	1062	1200	5310
5800	3865	1119	816	2314	1109	1300	5689
6000	3997	1158	845	2399	1156	1400	6069
7000	4652	1364	984	2824	1391	1600	6827
8000	5296	1572	1132	3248	1626	1800	7585
9000	5900	1819	1281	3652	1861	2000	8344
10000	6473	2077	1450	4056	2095	2400	9861
12000	7662	2538	1800		2565	2800	11377
14000	8911	2956	2133		3035	3200	12894
16000	10200	3385	2415		3504	3600	14411
18000	11500	3810	2690		3974	4000	15928
20000	12706	4220	3074		4443	4400	17445
						4546	17998

Door de onderschrijdingsfrequenties van de afvoeren van Rijn en Maas tegen elkaar uit te zetten ontstaat een 1 op 1 relatie tussen de afvoeren van beide rivieren.

Figuur 4: Vijftigprocentsrelaties Rijn-Maas, alsmede de gemiddelde 1 op 1 relatie (Horizontaal: Debit Rijn [m³/s]; Verticaal: Debit Maas [m³/s]).



E.3 Overgangsdebieten

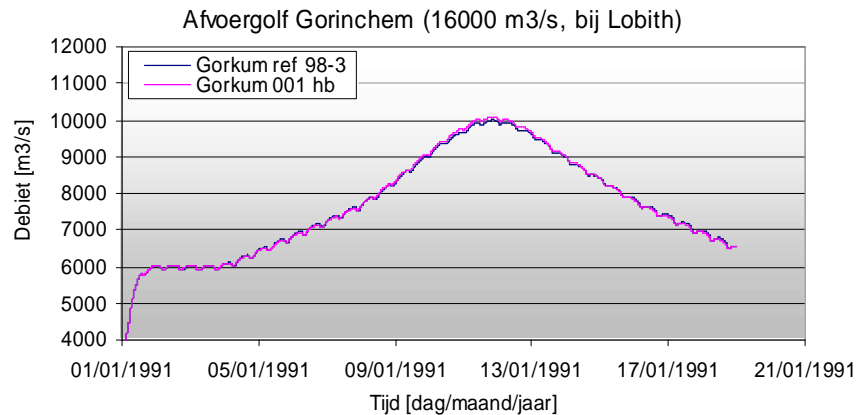
Het is interessant om na te gaan bij welke afvoer (van de Rijn bij Lobith) de overlaat aan de noordzijde van het doorstroomgebied gaat stromen. Deze overgang doet zich echter niet bij een vaste afvoer voor. Dit komt omdat andere factoren, zoals de zeewaterstanden, een significante invloed hebben op de waterstanden bij Werkendam. Er is

dus een overgangsgebied waarin de invloed vanuit de Biesbosch afneemt en de invloed vanuit de Nieuwe Merwede groter wordt.

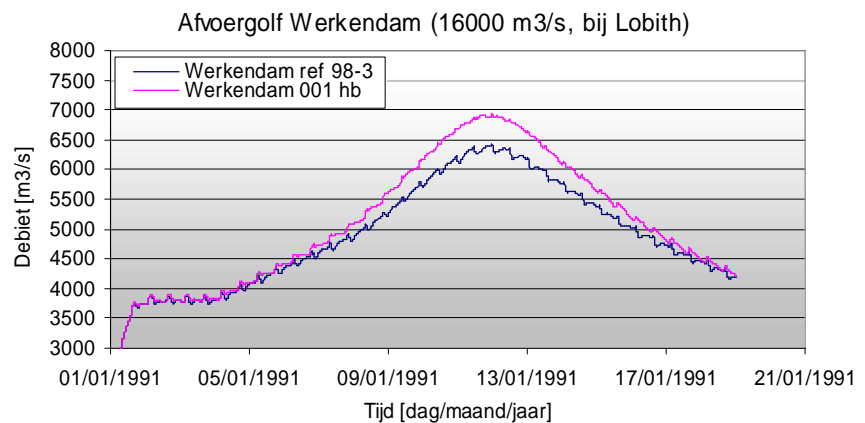
Om een indicatie te hebben van de Rijnafvoer, waarbij de overlaat het doorstroomgebied inundeert, is gekeken wanneer een MHW-golf het kritieke peil bereikt. De afvoer die bij desbetreffende waterstand hoort is daarna vertaald naar een afvoer bij Lobith. Deze figuren zijn ontleend aan de MHW-berekeningen voor de effectiviteit van de Noordwaard (Van der Linden, 2003).

In de figuren 5 en 6 worden de optredende afvoeren tijdens een MHW-golf ($Q=16000\text{m}^3/\text{s}$ voor Lobith) uitgezet. Zowel de afvoeren bij inzet van de Noordwaard ("001 hb" lijn) als de afvoeren zonder inzet van de Noordwaard ("98-3" lijn) worden weergegeven. Duidelijk is dat vanaf een afvoer van $6000\text{m}^3/\text{s}$ op de Waal, de Noordwaard mee gaat stromen. De invloed op de afvoer is echter nog gering. Tevens is te zien dat de afvoer op de Nieuwe Merwede na het inzetten van de Noordwaard toeneemt, waardoor de afvoer op de Beneden Merwede afneemt.

.....
 Figuur 5: Afvoer MHW-golf bij Gorinchem (met en zonder inzet Noordwaard) in m^3/s (Van der Linden).



.....
 Figuur 6: Afvoer MHW-golf bij Werkendam (met en zonder inzet Noordwaard) in m^3/s (Van der Linden).



Een afvoer van $6000\text{m}^3/\text{s}$ op de Boven Merwede correspondeert met een afvoer van $9200\text{m}^3/\text{s}$ voor de Rijn bij Lobith. Aangenomen wordt dat de grens, afhankelijk van de zeewaterstanden, ligt bij een afvoer van rond de $9000\text{m}^3/\text{s}$ voor de Rijn bij Lobith.

Relevante invoer op de randen van de modellen is essentieel voor een betrouwbare schatting van sedimentatie binnen de kreken en het doorstroomgebied van de Noordwaard. Gekeken is naar verschillende opties. Deze opties betreffen:

- Historische randvoorwaarden;
- Probabilistische benadering.

F.1 Historische randvoorwaarden

Het gebruik van historische afvoeren en waterstanden biedt een goede basis voor een realistische berekening. Aspecten die bij een fractionele benadering moeilijk te integreren zijn, kunnen nu meegenomen worden, zoals tijdsgebonden effecten en de interactie tussen afvoeren en variaties in getij. Voor de twee modellen (NDB en Biesbosch) zijn verschillende jaren gekozen. Het doorrekenen van veeljarige data bleek daarbij niet haalbaar aangezien dit zeer veel rekentijd gaat kosten. De keuze voor de door te rekenen jaren werd bepaald door de mate waarin dat jaar representatief is voor een langere periode en door de data beschikbaarheid.

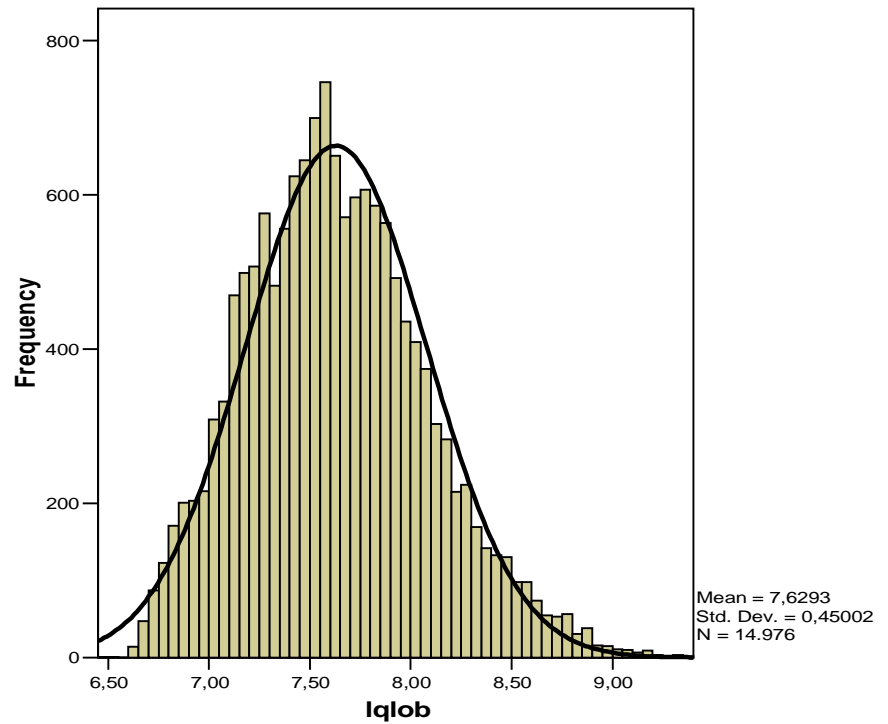
F.1.1 Biesbosch

Voor het Biesbosch model dient informatie over waterstanden en zwevend stof concentraties beschikbaar te zijn. Voor de hydraulische randvoorwaarde kunnen de waterstanden bij het meetpunt Deeneplaat gebruikt worden. Deze zijn over een lange periode beschikbaar. De zwevend stof concentraties zijn echter slechts voor de jaren 1986-1987 beschikbaar op het meetpunt Rietplaat. Omdat Rietplaat dicht in de buurt van het meetpunt Deeneplaat gelegen is worden de waterstanden bij Deeneplaat en de zwevend stofconcentraties bij Rietplaat op één rand opgelegd. Deze bevindt zich tussen de twee meetpunten in.

F.1.2 Model Noordelijk deltabekken

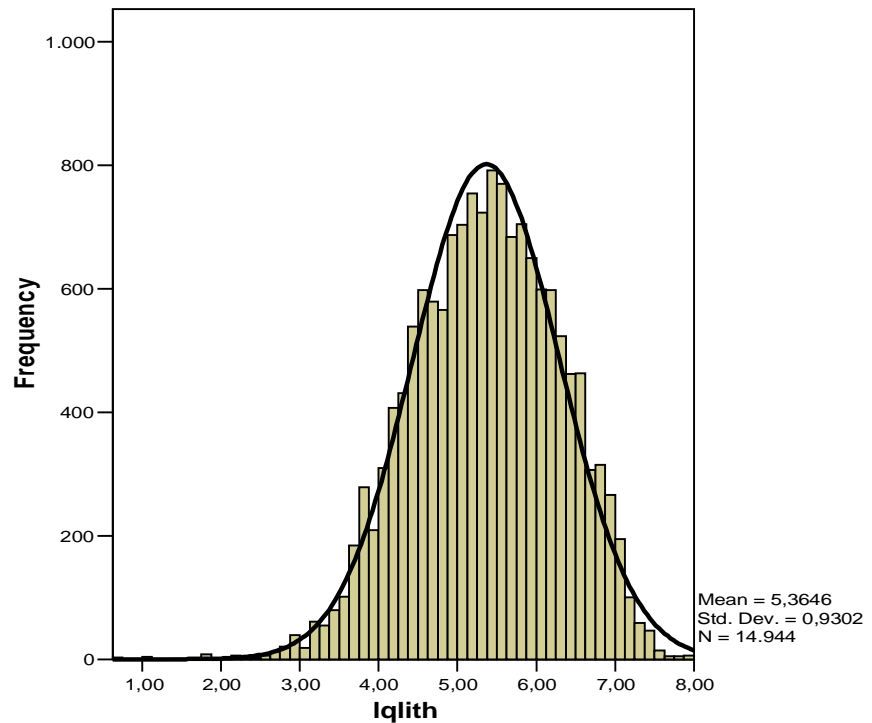
De keuze voor de randvoorwaarden van het NDB-model wordt bepaald door de afvoeren bij Lobith en Lith. Over een lange periode zijn de afvoeren beschikbaar. Het verdient de voorkeur om een recent jaar te nemen, omdat de hydraulische en morfologische omstandigheden structureel kunnen wijzigen. Gekozen is daarom voor een jaar uit de periode 1990-2000 dat representatief is voor een lange periode. Om dit te realiseren zijn de dagafvoeren van de laatste 45 jaar uitgezet.

.....
 Figuur 1: Historische afvoeren op de Rijn bij Lobith, waarop een lognormale verdeling gefit is.



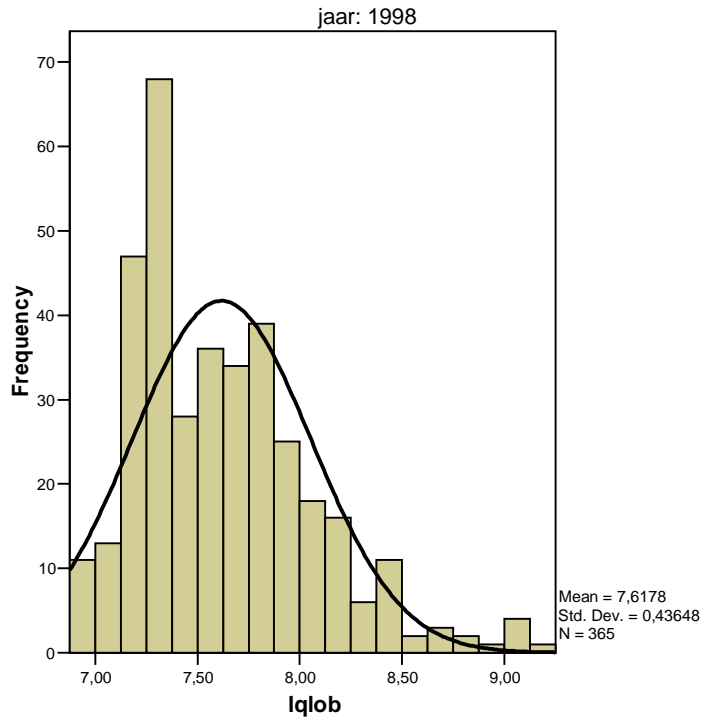
Op de afvoeren is een lognormale verdeling gefit, waarvoor de gemiddeldewaarde en standaarddeviatie bepaald zijn. Voor de afvoeren van de Maas bij Lith is op een zelfde manier een verdeling gefit.

.....
 Figuur 2: Historische afvoeren op de Maas bij Lith, waarop een lognormale verdeling gefit is.



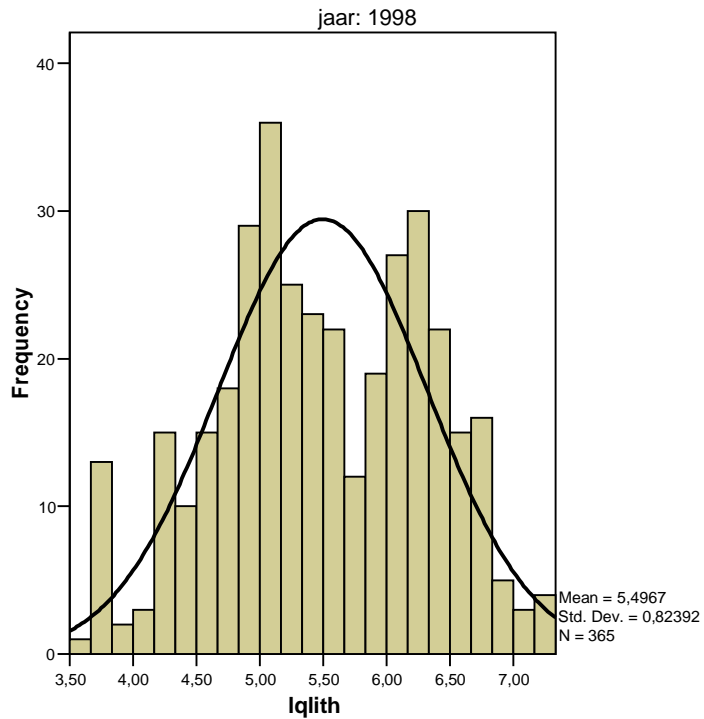
Gekeken is welk jaar het beste overeenkomt met de verdeling die is vastgesteld voor de Rijn bij Lobith. Hieruit komt naar voren dat de afvoer van de Rijn in 1998 het best de langjarige verdeling benaderd.

.....
 Figuur 3: Historische afvoer op de Rijn bij Lobith in 1998, inclusief de langjarige lognormale verdeling.



Voor de Maas bij Lith is een zelfde vergelijking gemaakt. De rol van de Maas is echter minder belangrijk, aangezien het lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen door de Rijnafvoeren bepaald wordt. De waterstanden op het Hollands Diep en in de Biesbosch worden dus grotendeels door de Rijnafvoer bepaald.

.....
 Figuur 4: Historische afvoer op de Maas bij Lith in 1998, inclusief de langjarige lognormale verdeling.



Voor de benedenstroomse waterstanden zijn meetwaarden gebruikt met een tussentijd van 10 minuten. Voor de Maasmond zijn metingen bij Hoek van Holland gebruikt en voor het Haringvliet de gemeten waterstanden bij het meetpunt 'Haringvliet buiten'.

F.2 Probabilistische benadering

In deze bijlage wordt de samenstelling van randvoorwaarden voor de probabilistisch aanpak toegelicht. Een voordeel van deze methode is dat de invloed van verschillende fracties afzonderlijk te zien is. Tevens kan met deze methode de morfologie voor een statistisch jaar eenvoudig worden benaderd.

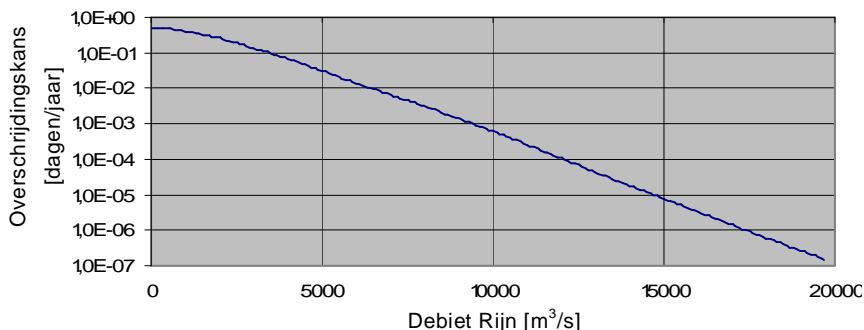
F.2.1 Aanpak fractionering

Bij de probabilistische benadering wordt het debiet opgedeeld in een aantal fracties. Voor elk van deze fracties worden een aantal belangrijke parameters bepaald, namelijk:

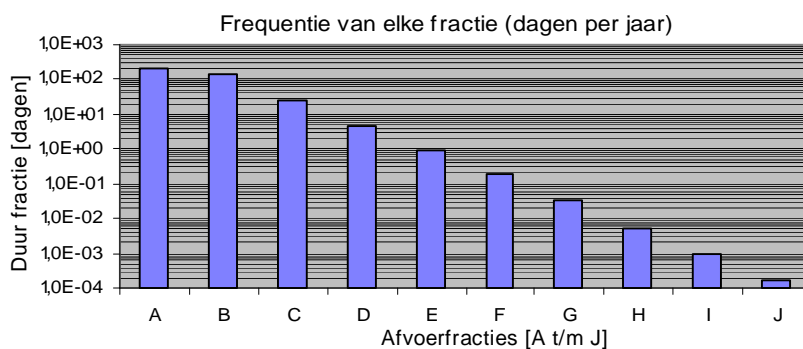
- Gemiddelde duur van de fractie;
- Het gewogen gemiddelde van de Rijnafoeren binnen de fractie;
- Bijbehorende Maas afvoer;
- De afvoer op de Lek en de Waal, met behulp van afvoerrelaties.

In de volgende figuren is het principe van de opdeling van de Rijnafvoer in fracties te zien.

.....
 Figuur 5: Afvoer – overschrijdingskans curve Rijn bij Lobith



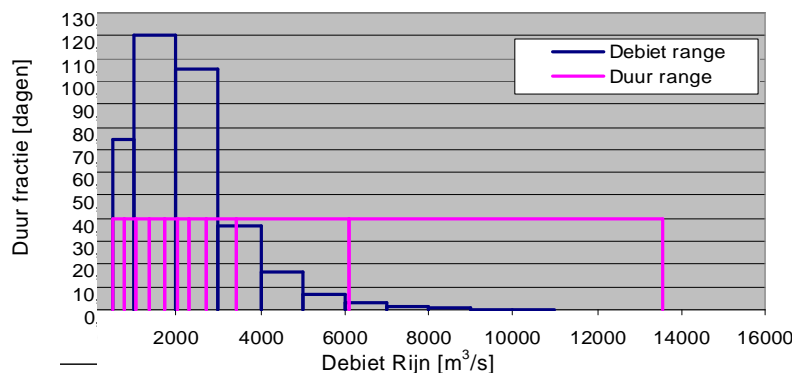
.....
 Figuur 6: Debiet fracties afvoer Rijn bij Lobith



Bij het opdelen van de Rijnafvoer in stukken kan gekozen worden voor

- Fracties van het debiet van de Rijnafvoer;
- Fracties van de afvoer met een zelfde duur.

.....
 Figuur 7: Voorbeeld: Verschil tussen debietfracties en duurfracties.



In de tabellen 1 en 2 is een debiet- en een duurfractie opdeling weergegeven. Gekozen is voor de debietfracties, vanwege de hoge fractiedichtheid op het overgangsdebiet van de overlaat ($\approx 9000\text{m}^3/\text{s}$).

Tabel 1: Indeling van afvoer bij Lobith in debiet fracties

Fracties debiet						
Fractie	Debiet range	Dagen /frac	Qlobith	Q Lith	Q Waal	Q Lek
A	500 - 2000	194.64	1207	105	945	25
B	2000 - 4000	141.66	2670	465	1862	463
C	4000 - 6000	23.323	4729	972	3153	911
D	6000 - 8000	4.1824	6759	1471	4425	1353
E	8000 - 9000	0.6693	8439	1885	5478	1719
F	9000 - 10000	0.2985	9433	2129	6101	1936
G	10000 - 11000	0.1362	10438	2377	6731	2155
H	11000 - 12000	0.0576	11427	2620	7351	2370
I	12000 - 14000	0.0330	12714	2937	8158	2650
J	14000 - 16000	0.0055	14729	3433	9421	3089
K	16000 - 18000	0.0010	16727	3925	10673	3524

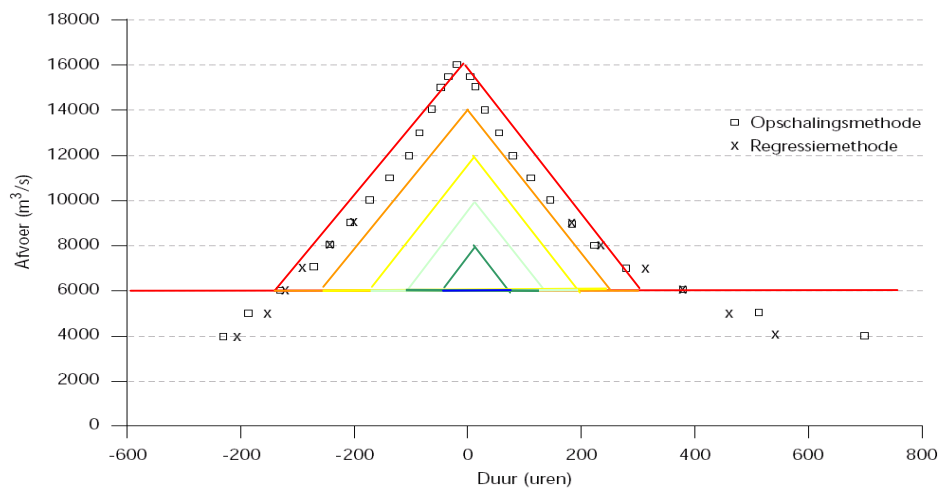
Tabel 2: Indeling van de afvoer bij Lobith in duur fracties

Fracties debiet						
Fractie	Debiet range	Dagen /frac	Qlobith	Q Lith	Q Waal	Q Lek
A	500.0 904.2	60.0	718	41	639	25
B	904.2 1340.0	60.0	1116	83	888	25
C	1340.0 1900.9	60.0	1605	203	1195	93
D	1900.9 2304.0	60.0	2097	324	1503	338
E	2304.0 3005.7	60.0	2610	450	1825	450
F	3005.7 6098.5	60.0	3950	780	2665	742
G	6098.5 6780.0	2.00	6411	1386	4207	1278
H	6780.0 8234.6	2.00	7380	1624	4815	1489
I	8234.6 10969.9	0.90	9134	2056	5914	1871
J	10969.9 13540.2	0.090	11799	2712	7584	2451
K	13540.2 16227.9	0.0090	14403	3352	9216	3018

F.2.2 Schematisatie afvoergolven

Voor elke fractie wordt het model semi-stationair doorgerekend. De minder frequent optredende afvoeren kunnen echter niet met een stationaire afvoer berekend worden. Aangezien de overschrijdingskansen bij deze omstandigheden niet direct te koppelen zijn aan een duur. De kansen die in afvoer overschrijdingsduur tabellen voor afvoeren met een lagere frequentie gegeven zijn, zijn niet zo zeer duren maar gebeurtenissen (van hoogwatergolven). Daarom moet bij een minder frequent optredende afvoer een representatieve hoogwatergolf als randvoorwaarde opgelegd worden. Bij lagere afvoeren mag een constante (stationaire) afvoer verondersteld worden.

Figuur 8: Schematisering van de afvoergolven op de Rijn, alsmede de representatieve afvoergolf (Parmet et al., 2001).



Schematisering van afvoergolven op de Rijn bij Lobith:

- 6000 m³/s
- 8000 m³/s
- 10000 m³/s
- 12000 m³/s
- 14000 m³/s
- 16000 m³/s

F.2.3 Zeespiegel

Aan de benedenstroomse randen van het model wordt een representatieve getij cyclus opgelegd, zoals deze gebruikt wordt (of gaat worden) in het randvoorwaardenboek 2005. Deze cyclus bestaat uit de huidige representatieve getijcyclus (www.waternormalen.nl) met twee centimeter zeespiegelstijging. Deze invoer wordt aan de randen van het model opgelegd bij de Haringvlietsluizen en bij Hoek van holland.

Tabel 3: Gemiddelde getijcyclus

Locatie	Laagwater	Hoogwater
Maasmond	NAP -0,65 m	NAP +1,13 m
Haringvliet buiten	NAP -0,88 m	NAP +1,51 m

Het lozingsprogramma Haringvlietsluizen 1984 is als instelling voor de keringen in het Haringvliet gebruikt.

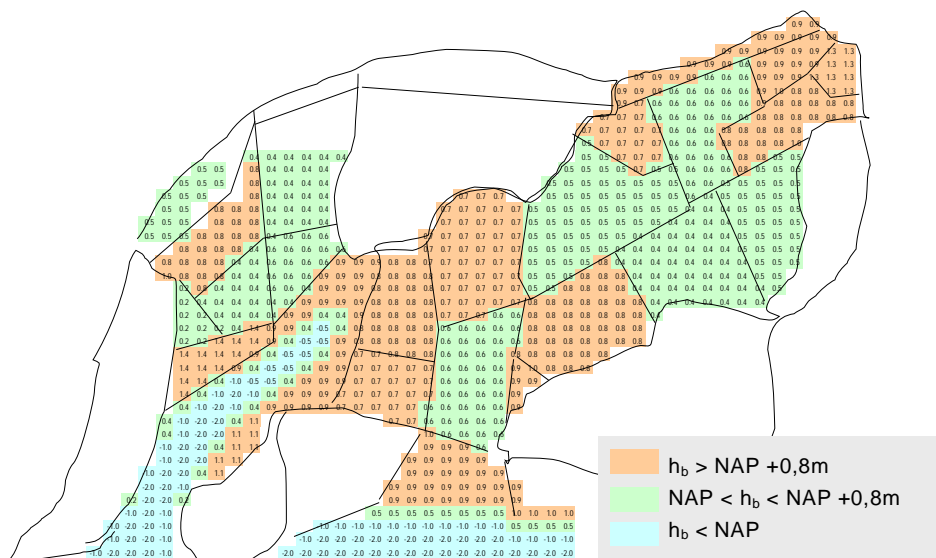
Bijlage G Morfologie bij hoogwater

Het is interessant om te zien hoe de ruimtelijke verdeling van de sedimentatie en erosie tijdens een extreem hoogwater eruit ziet. Ten behoeve hiervan is een spreadsheetmodel opgezet dat het waterstandverloop en de sedimentatie in een gebied quasi-statisch bepaald. Dit model kent de volgende uitgangspunten.

Bodemhoogte

- Huidige bodemhoogte (NAP +0,5m t/m NAP +0,9m)

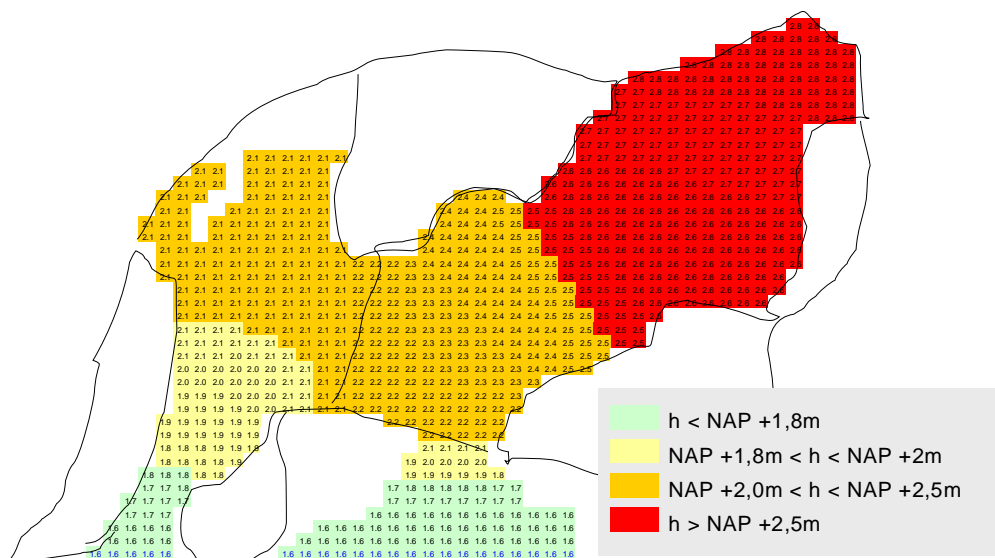
Figuur 1: Geschematiseerde bodemhoogte van het doorstroomgebied.



Randvoorwaarden

- Afvoer op bovenstroomse zijde ($3000\text{m}^3/\text{s}$)
- Waterstand aan benedenstroomse zijde (NAP +1,6m)
- zwevend stof concentraties op randen (30mg/l)

Figuur 2: Verloop waterstanden binnen doorstroomgebied Noordwaard.

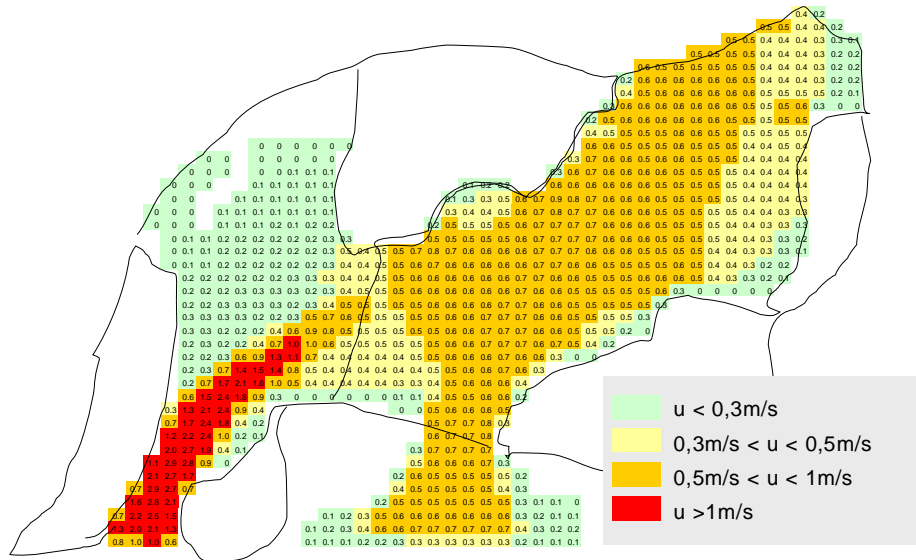


Formuleringen

- Weerstand (Chézy), afhankelijk van waterdiepte (tussen 50 en 55m^{1/2}/s).
- Waterstand verschillen, m.b.v. Chézy
- Meevoering en sedimentatie/erosie zwevend stof
- Sedimentatie zwevend stof met Krone (1962)
- Erosie zwevend stof met Partheniades (1965)

De stroomsnelheden (u) in het gebied kunnen ingeschat worden middels de uitwisselingsdebieten tussen de vakken.

Figuur 3: Stroomsnelheden binnen doorstroomgebied Noordwaard.

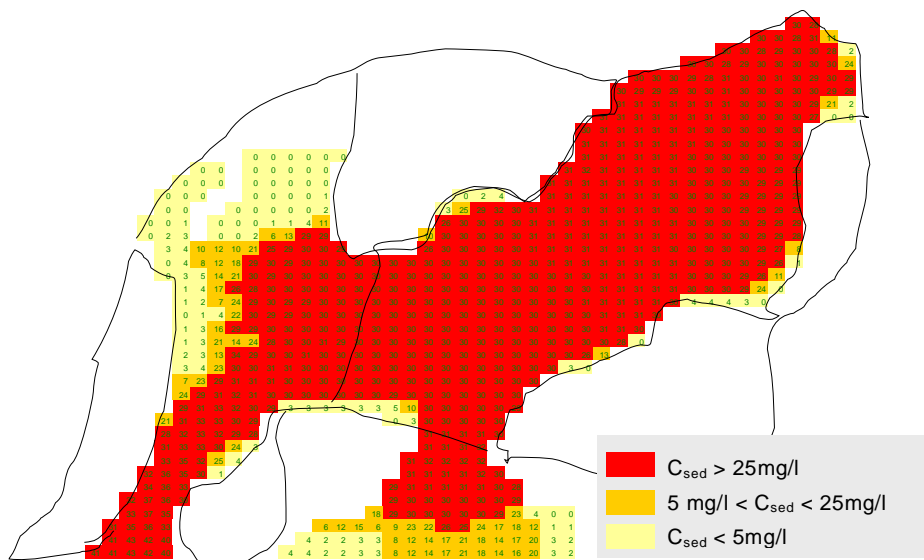


Als uitgegaan wordt van ‘gemiddeld’ geflocculeerd slib kunnen de sedimentconcentraties, in een stationaire situatie, bepaald worden. De bepalende parameters zijn:

Proces parameters

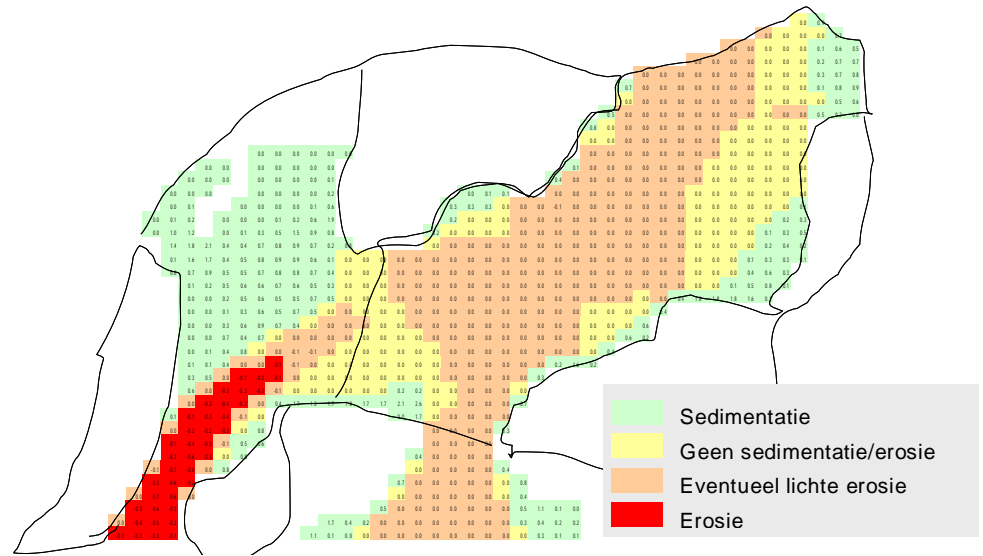
- Kritische schuifspanning sedimentatie (0,5Pa)
- Kritische schuifspanning erosie (1Pa)
(Dit correspondeert met een kritische stroomsnelheid van 0,7m/s)
- Gemiddelde valsnelheid (10m/dag)
- Erosieconstante (0,5kg/m².d)

Figuur 4: Zwevend stof concentraties binnen het doorstroomgebied van de Noordwaard.



Het patroon van sedimentatie en erosie dat zich voordoet binnen het doorstroomgebied wordt in figuur 5 weergegeven.

Figuur 5: Patroon van sedimentatie en erosie binnen het doorstroomgebied van de Noordwaard (voor geflocculeerd slib).



In de zuidelijke versmallingen zal, door de grote stroomsnelheden, waarschijnlijk erosie optreden. De erosie in het midden en noordelijk deel zal waarschijnlijk beperkt zijn of niet optreden, aangezien:

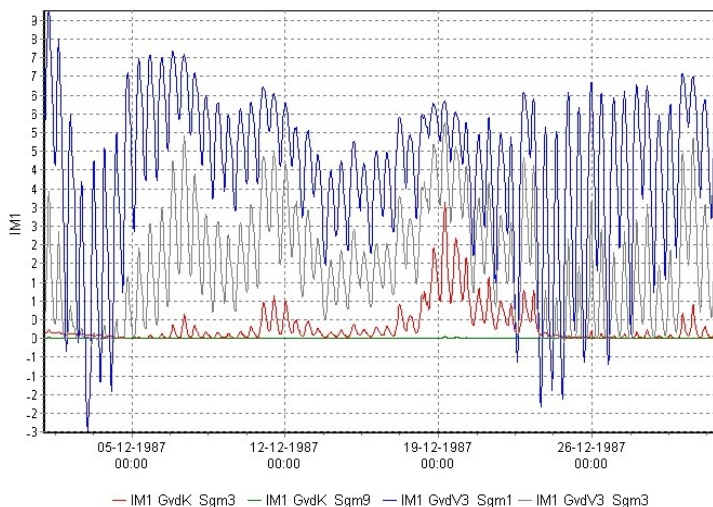
- De sedimentconcentratie van het toegevoerde water groot is, waardoor veel grof materiaal (fijn zand) achter de overlaat sedimenteert.
- De vegetatie de bodem beschermt én stroomsnelheden op maaiveldniveau reduceert.

Bijlage H Check morfologie historische methode

H.1 Biesbosch model historisch

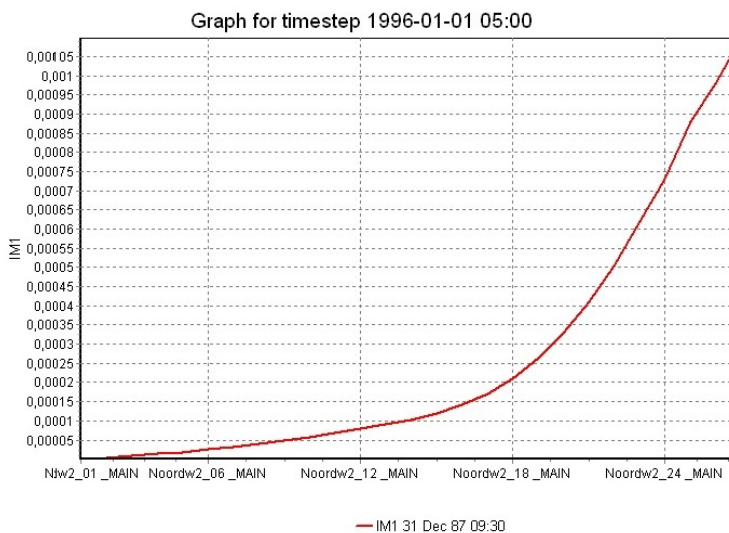
Het Biesbosch historisch model geeft een beperkte sedimentatie in de kreek en floodplains van het doorstroomgebied. Dit wordt veroorzaakt door een sterke sedimentatie in de geulen van de Biesbosch. Dit valt te zien aan de zwevend stofconcentraties, welke (onder normale omstandigheden) sterk afnemen in de geulen van de Biesbosch. Dit komt omdat de geulen nog geen morfologisch evenwicht hebben bereikt, en sterk aanslibben. Een groot deel van het sediment bereikt het doorstroomgebied daarom niet.

Figuur 1: Zwevend stof concentratie in het water van het Gat van de Visschen en het Gat van Kampen, in mg/l (december 1987)



Tevens valt te zien dat de zwevend stof concentratie in de kreek sterk afneemt, waardoor sedimentatie zal optreden. De sedimentconcentratie is echter zeer beperkt.

Figuur 2: Concentratie zwevend stof in de takken van Noordwaard2 voor de kreek. (mg/l)

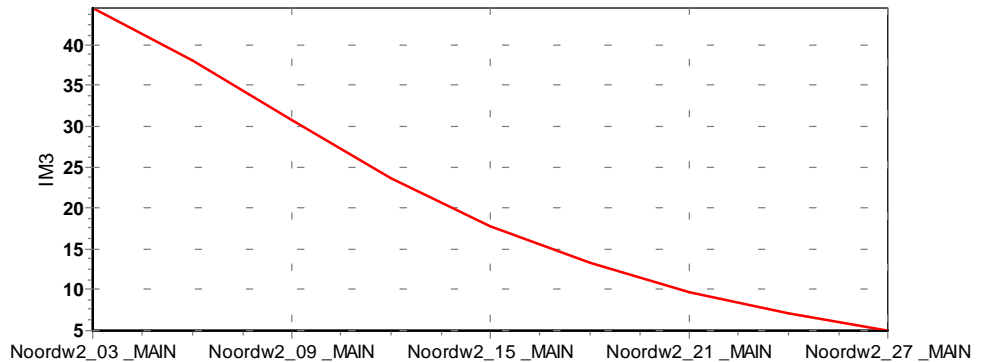


H.2 NDB-model historisch

De fijn zand- en grof slibcomponenten zijn slechts in de polder aanwezig als er water vanuit de Nieuwe Merwede de polder binnenstroomt. De sedimentconcentraties van deze fracties (IM2 en IM3) lopen in die situatie gelijkmatig af, vanaf de inlaat zijde tot de Biesbosch zijde van het doorstroomgebied. In de figuren 3 en 4 is het verloop van de zwevend stof concentraties tijdens inundatie van de polder weergegeven.

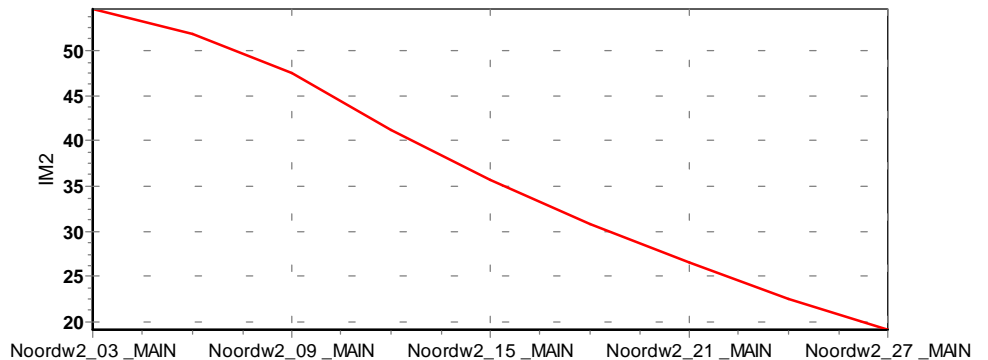
.....
 Figuur 3: Berekende zwevend stof concentraties (g/m^3) van de fijn zand fractie (IM3) op 3 november 1998, over de segmenten van de 2^{de} Noordwaard tak.

- Links: overlaat;
- Rechts: uitstroomzijde (Biesbosch).



.....
 Figuur 4: Berekende zwevend stof concentraties (g/m^3) van de grof slib fractie (IM2) op 3 november 1998, over de segmenten van de 2^{de} Noordwaard tak.

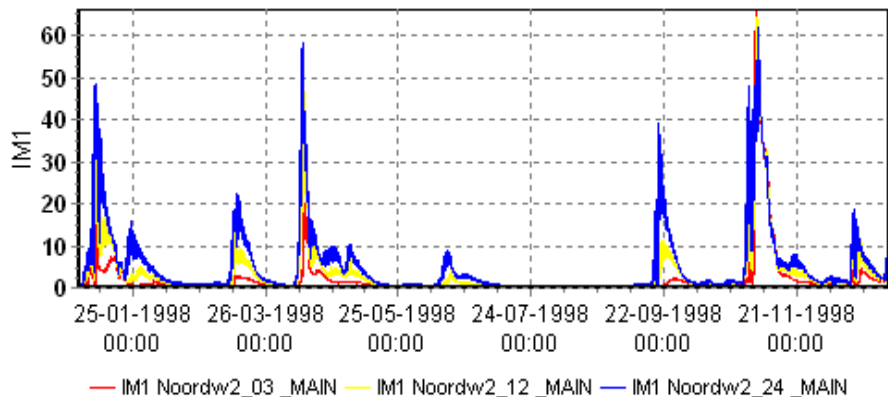
- Links: overlaat;
- Rechts: uitstroomzijde (Biesbosch).



De concentratie zwevend fijn slib daarentegen, is groter aan de uitstroomzijde van de polder. Ook bij inundatie van het doorstroomgebied vanuit de Biesbosch wordt fijn slib aangevoerd. Dit valt in figuur 5 te zien aan de pieken die bijvoorbeeld begin februari, half april en eind september optraden. Deze pieken corresponderen met piekafvoeren van de Maas.

.....
 Figuur 5: Berekende zwevend stof concentraties (g/m^3) van de fijn slib fractie (IM1) op 3 november 1998, over de segmenten van de 2^{de} Noordwaard tak.

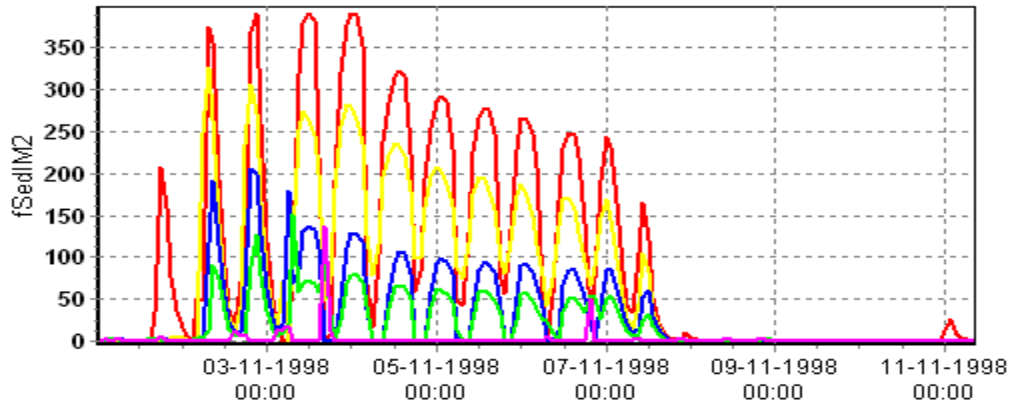
- Noordw2_03: Kreek achter overlaat;
- Noordw2_12: Kreek halverwege het doorstroomgebied;
- Noordw2_24: Kreek aan de uitstroomzijde (Biesbosch) van het doorstroomgebied.



De sedimentatie van het fijne zand en grove slib (IM3 en IM2) vindt vrijwel volledig plaats tijdens de hoogwater gebeurtenissen. In de volgende figuur is een zeer grote sedimentatief flux van grof slib te zien tijdens inundatie over de drempel aan de Nieuwe Merwede.

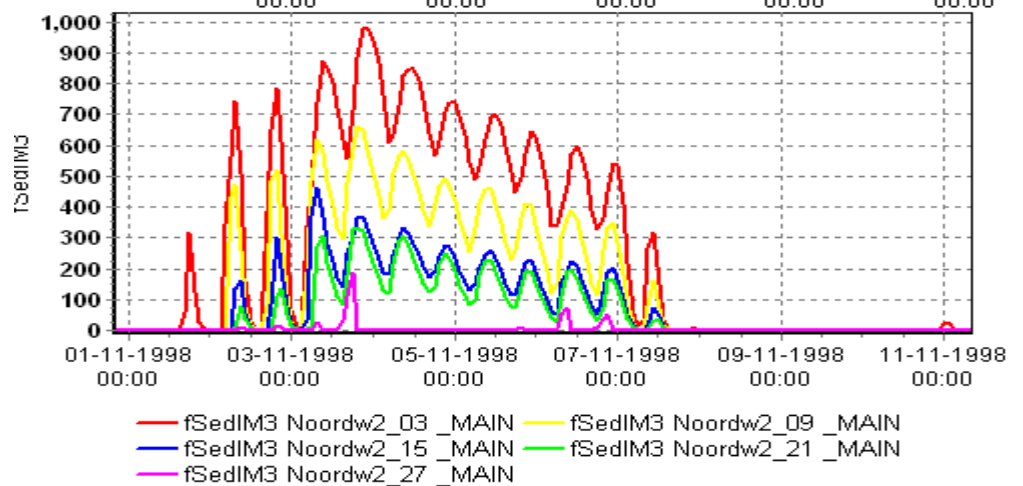
Figuur 6: Sedimentatie flux ($g/m^2/d$) voor de grof slib fractie (IM2) op verschillende locaties van de 2^{de} Noordwaard tak.

- Noordw2_03: Kreek achter overlaat;
- Noordw2_27: Kreek aan de uitstroomzijde (Biesbosch) van het doorstroomgebied.



Figuur 7: Sedimentatie flux ($g/m^2/d$) voor de fijn zand fractie (IM3) op verschillende locaties van de 2^{de} Noordwaard tak.

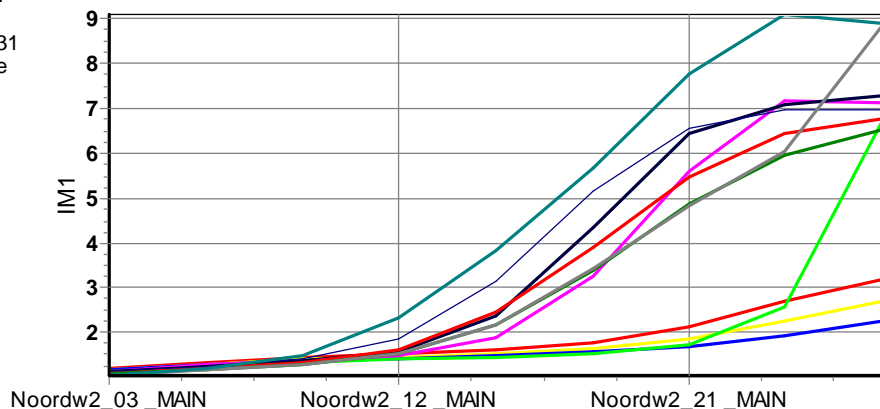
- Noordw2_03: Kreek achter overlaat;
- Noordw2_27: Kreek aan de uitstroomzijde (Biesbosch) van het doorstroomgebied.



De sedimentatie van IM1 vindt vooral in het middengebied plaats. Dit is ook te zien aan de sediment lading op verschillende plaatsen. Deze neemt het sterkst af in het midden van het gebied. Waarschijnlijk omdat hier een groot getijraam (grote duur in getij cyclus) is met lage stroomsnelheden. Aan de uitstroomzijde zijn de snelheden nog vrij hoog, terwijl aan de noordzijde de sedimentlading te beperkt is om nog veel te sedimenteren.

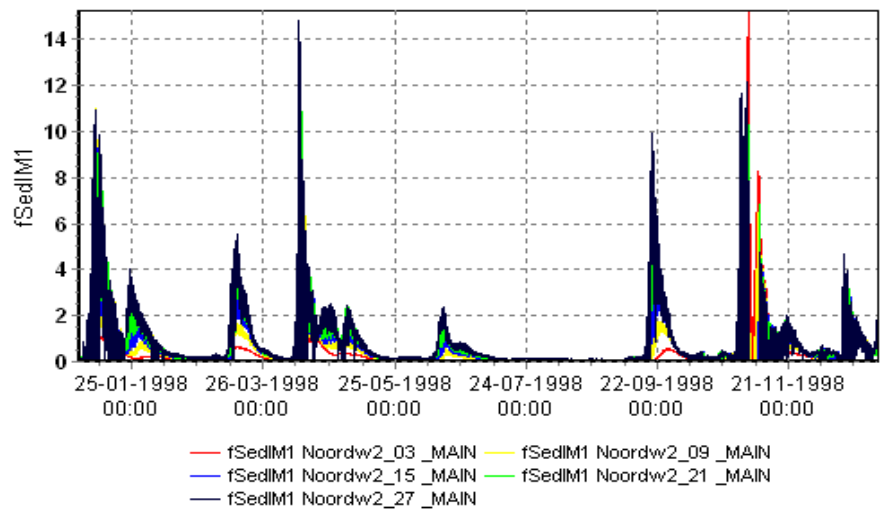
Figuur 8: Zwevend stof concentraties (g/m^3) van de fijn slib fractie (IM1) op 31 december 1998, over de lengte van de 2^{de} tak van het doorstroomgebied.

- Links: overlaat;
- Rechts: uitstroomzijde (Biesbosch).



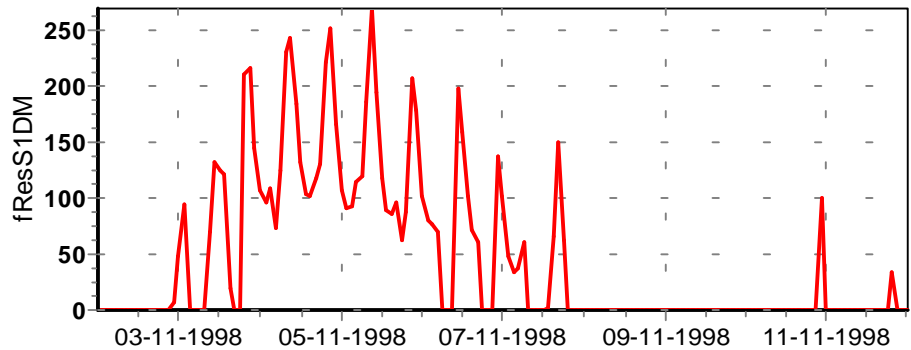
.....
 Figuur 9: Berekende sedimentatie flux ($\text{g/m}^2/\text{d}$) voor de fijn slib fractie (IM1) in 1998, over de lengte van de 2^{de} tak van het doorstroomgebied.

- Noordw2_03: Kreek achter overlaat;
- Noordw2_27: Kreek aan de uitstroomzijde (Biesbosch) van het doorstroomgebied.



Duidelijk is dat de stroomsnelheden aan de uitstroomopening onder speciale omstandigheden hoog zijn. Hoog genoeg om resuspensie van sediment in gang te zetten. Figuur 10 geeft een indicatie van de snelheid waarmee erosie plaats kan vinden in de laatste kilometer (aan de uitstroomzijde) van de kreek.

.....
 Figuur 10: Schatting van de resuspensie flux ($\text{g/m}^2/\text{d}$) in segment 24, 5,5 kilometer benedenstrooms van de overlaat aan de Nieuwe Merwede.



Bijlage I Resultaten

In deze bijlage worden de algemene ontwerpaanbevelingen uit hoofdstuk 14 toegelicht. Daarbij wordt uitgegaan van drie mogelijke ontwerpmaatregelen (tabel 1, 2 en 3), welke gecombineerd worden tot één aanbeveling (tabel 14.5).

I.1 Brede of smalle kreken

Vanuit morfologisch oogpunt verdient het over het algemeen aanbeveling smalle kreken toe te passen. Uitzondering hierop vormt de situatie waarbij regelmatig, vanaf bovenstrooms, zeer sedimentrijk water het gebied ingevoerd wordt. Het verdient dan aanbeveling brede kreken toe te passen, om het water (en het sediment) sneller af te voeren.

Tabel 1: Overzicht aanbevelingen met betrekking tot de breedte van de kreken.

	Frequentie bovenstroomse inundatie laag		Frequentie bovenstroomse inundatie hoog	
	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden
Verticaal getij Klein	Smalle kreken	Smalle kreken	Smalle kreken	Brede kreken
Verticaal getij groot	Smalle kreken	Smalle kreken	Smalle kreken	Brede kreken

I.2 Bergend oppervlak

In sommige gevallen kan de sedimentatie beperkt of beter beheersbaar worden door het aanleggen van een meer achter de overlaat, waarin de kreken uitlopen. De gemiddelde stroomsnelheden over de lengte van de kreken zullen groter worden. Bij een hoge toevoer van sediment vanaf de overlaat kan het meer als zandvang dienen. Minder wenselijk is deze maatregel als het sedimentgehalte of het verticaal getij benedenstrooms erg hoog is, waardoor het getijprisma (en de sedimenttoevoer) toeneemt.

Tabel 2: Overzicht aanbevelingen met betrekking tot bergingsmeren/zandvangen achter de bovenstroomse overlaat.

	Frequentie bovenstroomse inundatie laag		Frequentie bovenstroomse inundatie hoog	
	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden
Verticaal getij Klein		Bergend oppervlak		Zandvang
Verticaal getij groot				Eventueel zandvang

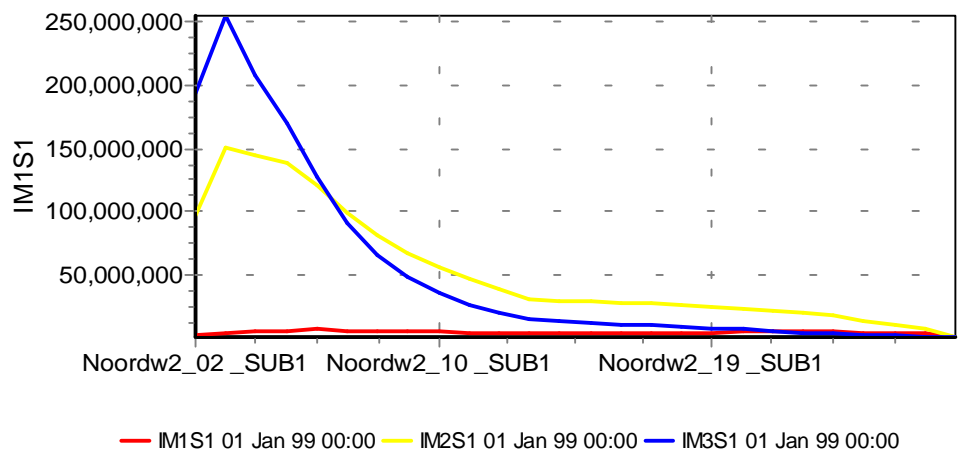
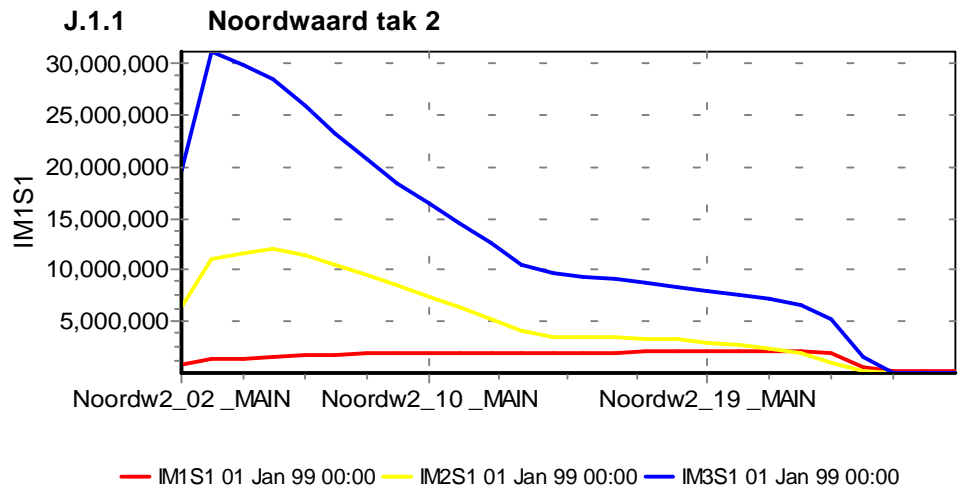
I.3 Duikers

Voor duikers is het van belang dat de sedimentconcentraties bovenstrooms (t.o.v. benedenstrooms) beperkt zijn.

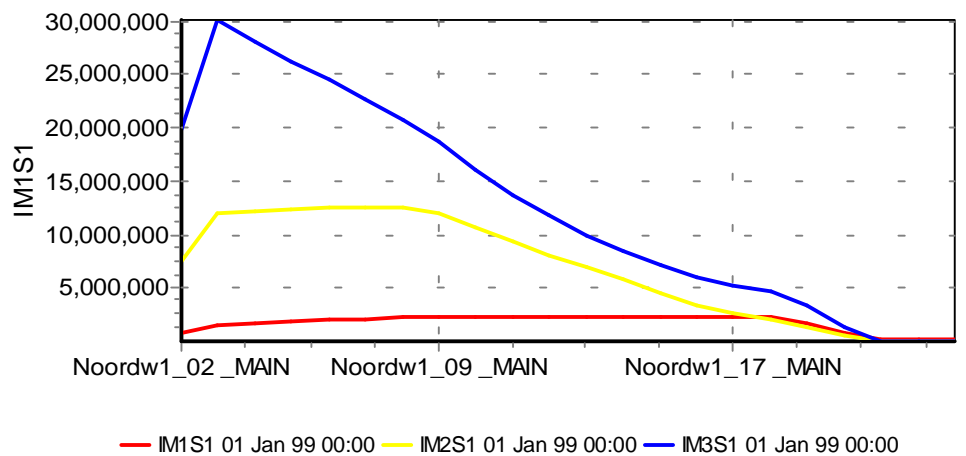
Tabel 3: Overzicht aanbevelingen met betrekking tot het realiseren van permanente doorstroming van de kreken met duikers.

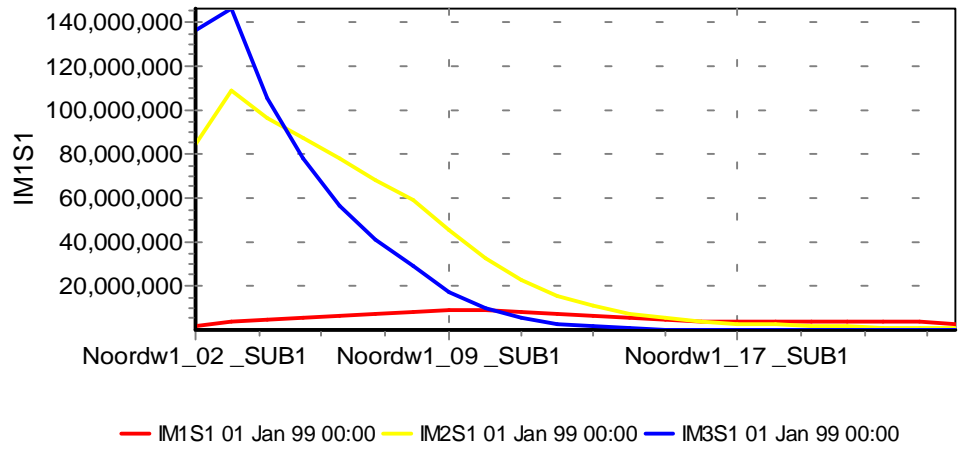
	Frequentie bovenstroomse inundatie laag		Frequentie bovenstroomse inundatie hoog	
	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden	C _{SED} Boven<=Beneden	C _{SED} Boven>Beneden
Verticaal getij Klein	Duikers		Duikers	
Verticaal getij groot	Duikers		Duikers	

J.1 Referentie model

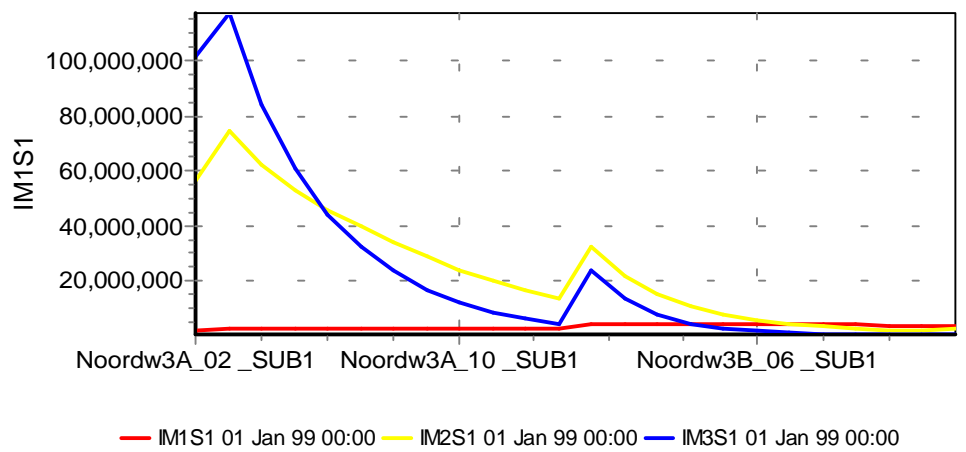
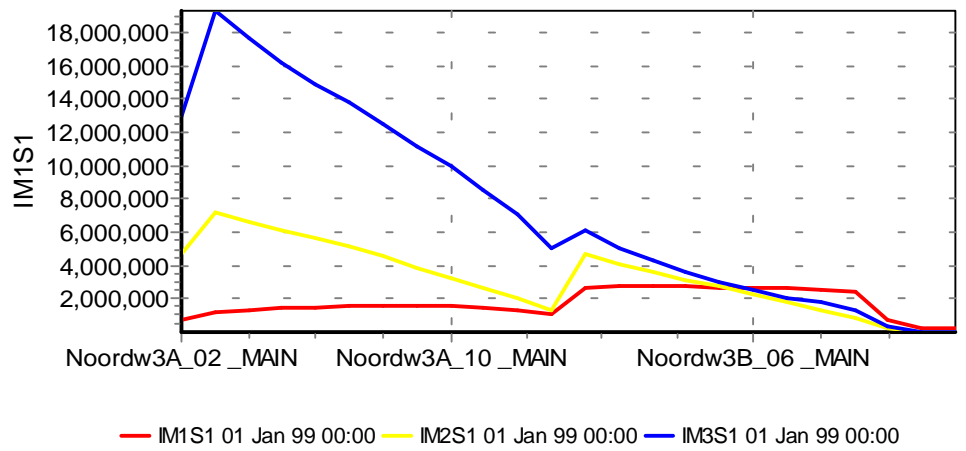


J.1.2 Noordwaard tak 1



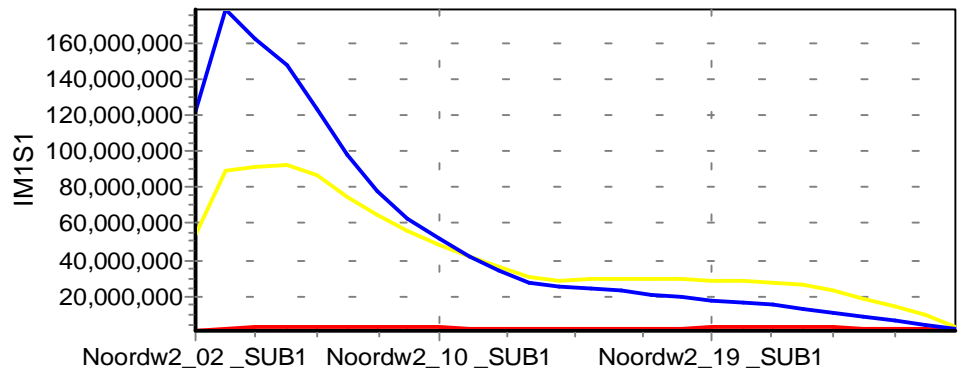
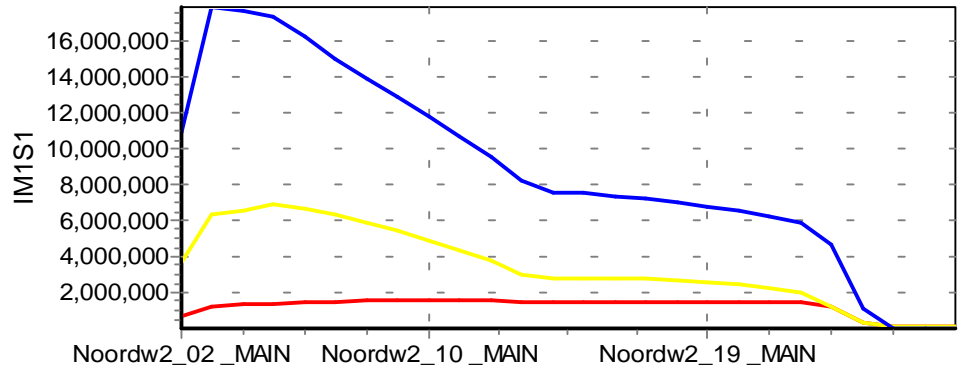


J.1.3 Noordwaard tak 3a - 3b



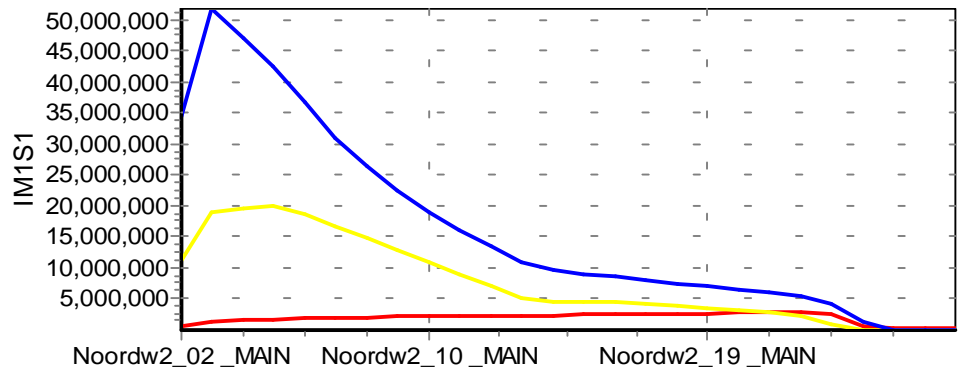
J.2 Gevoeligheidsanalyse

J.2.1 Halve valsnelheid

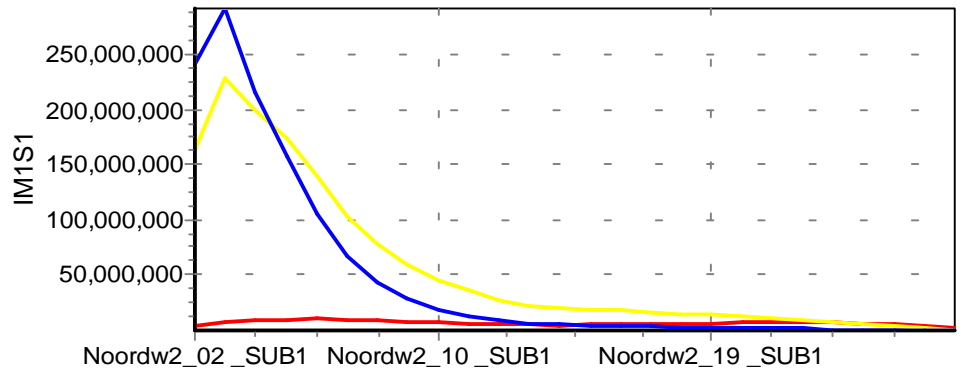


— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00

J.2.2 Dubbele valsnelheid

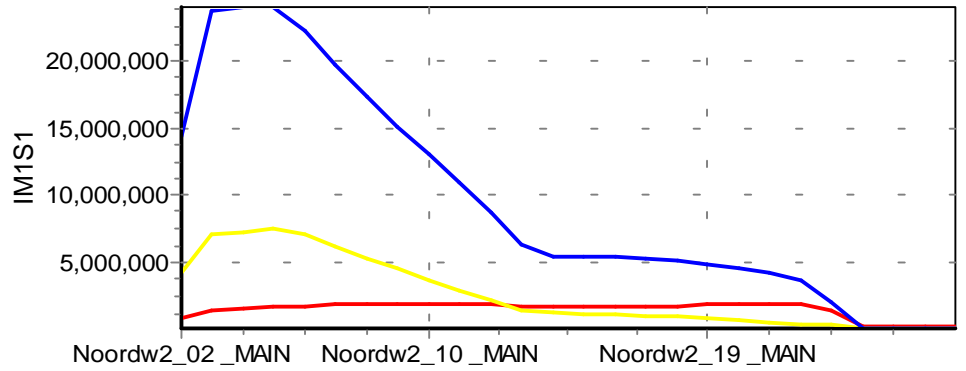


— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00

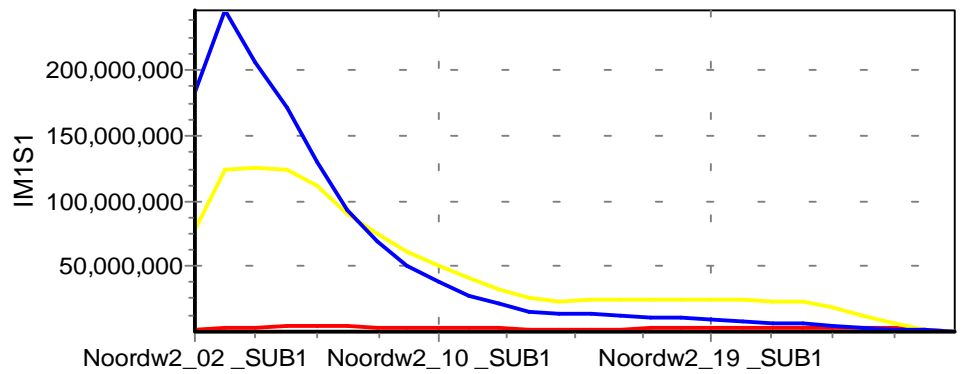


— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00

J.2.3 Halve tau kritisch

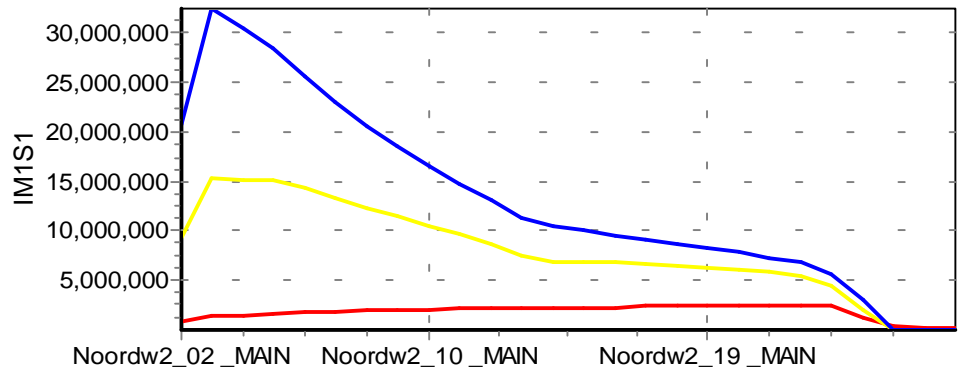


— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00

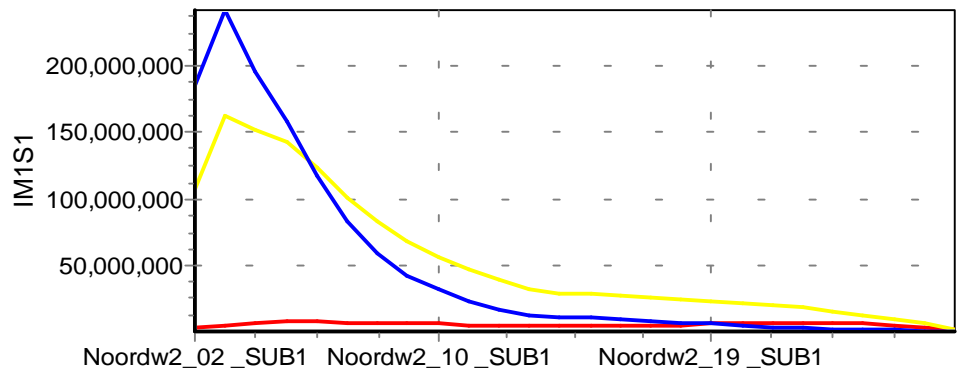


— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00

J.2.4 Dubbele tau kritisch



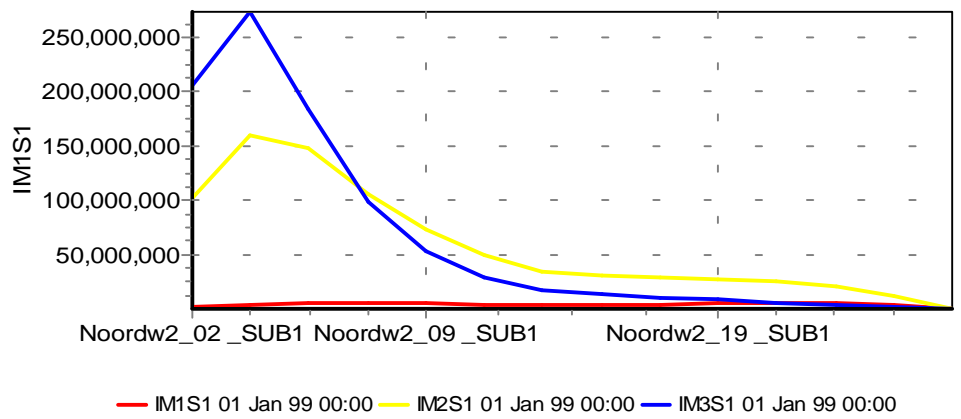
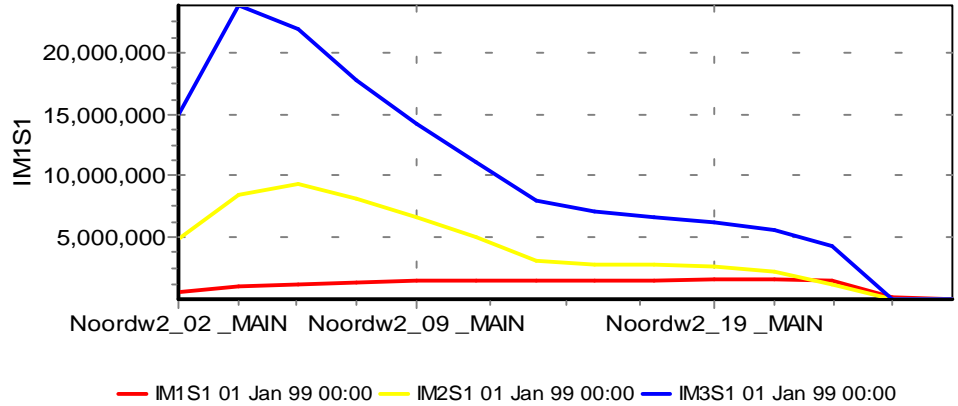
— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00



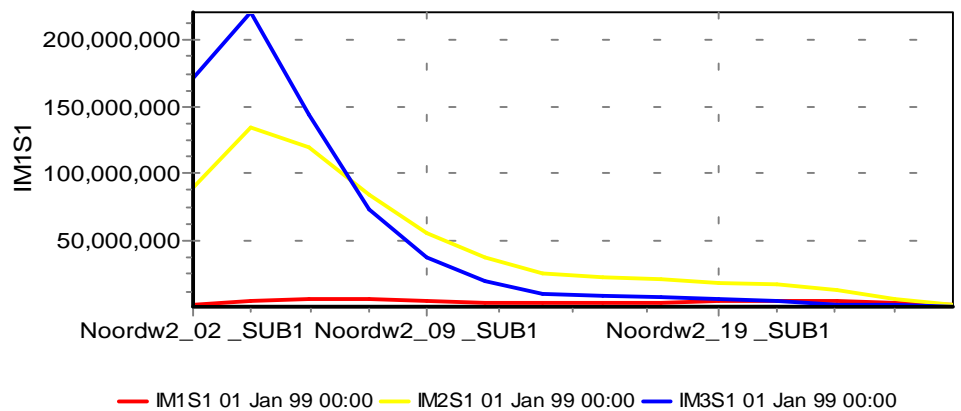
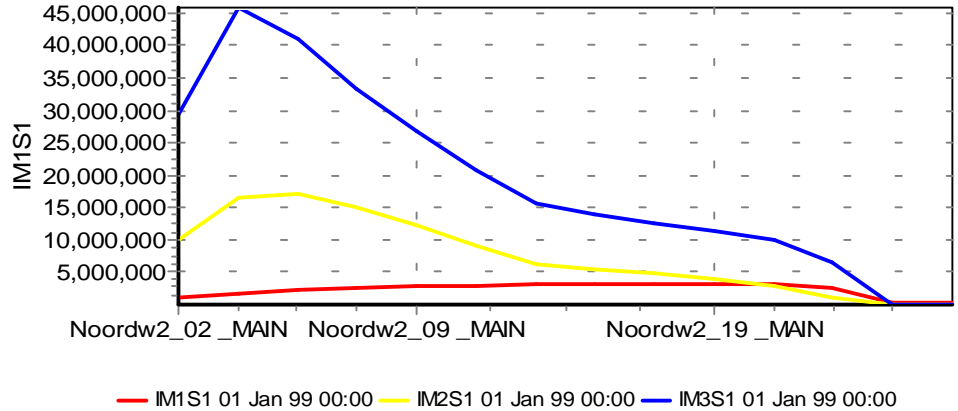
— IM1S1 01 Jan 99 00:00 — IM2S1 01 Jan 99 00:00 — IM3S1 01 Jan 99 00:00

J.3 Model aanpassingen

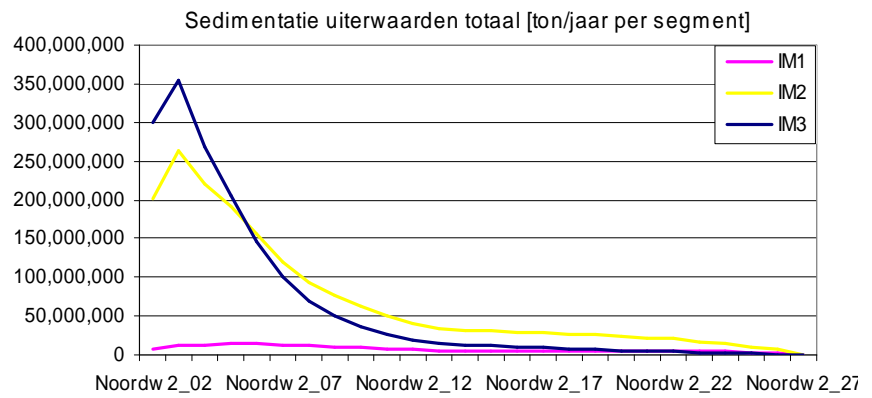
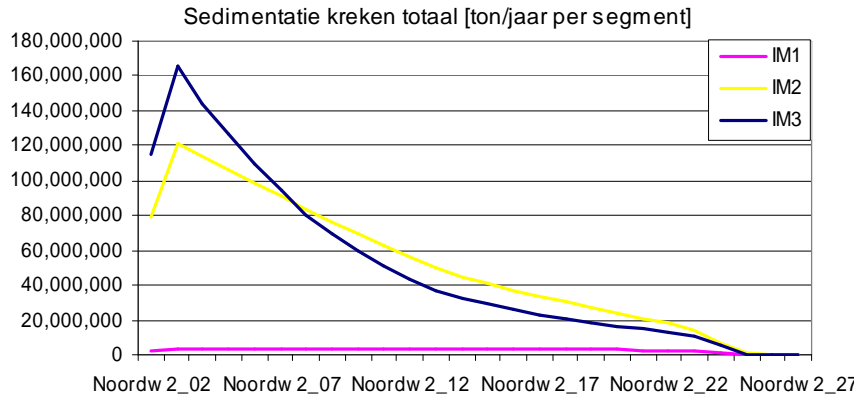
J.3.1 Breedte -25%



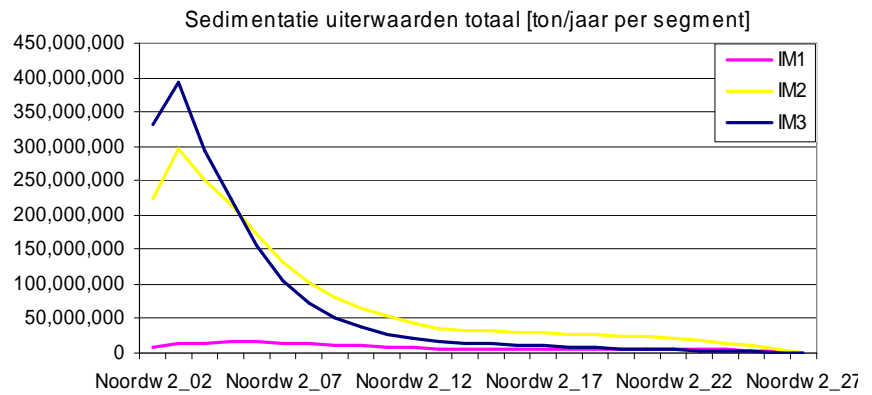
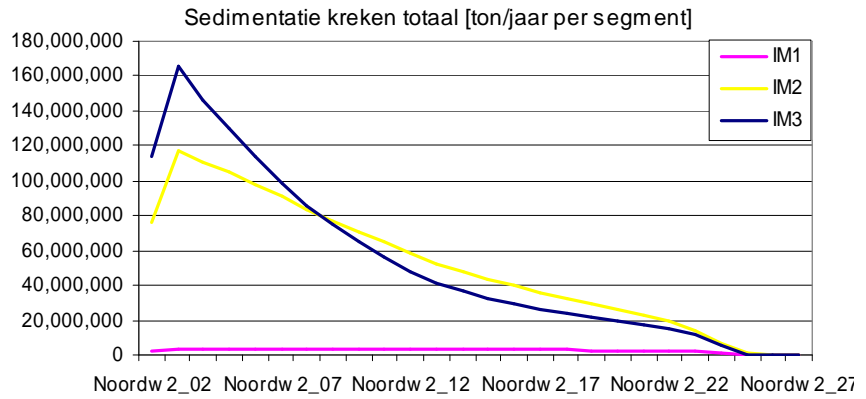
J.3.2 Breedte +50%



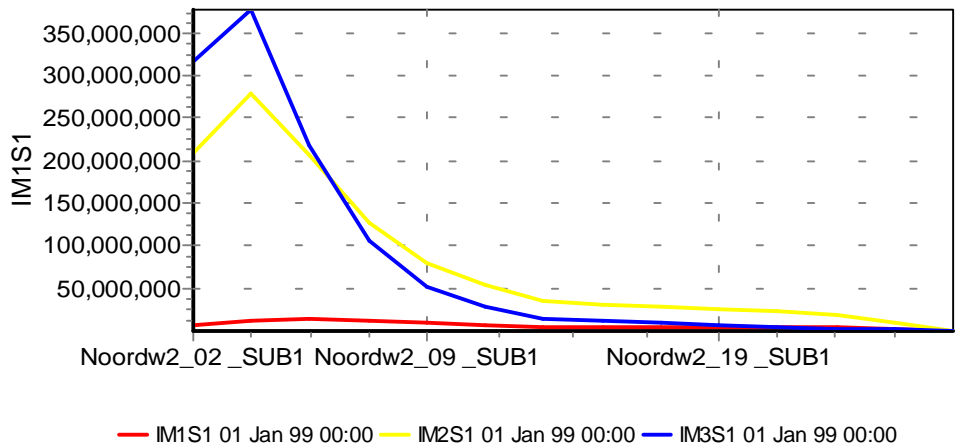
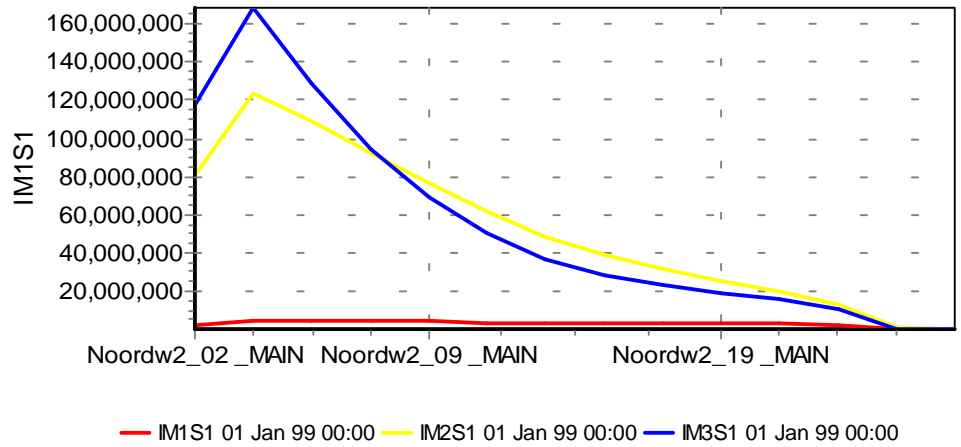
J.3.3 Duiker 15m²



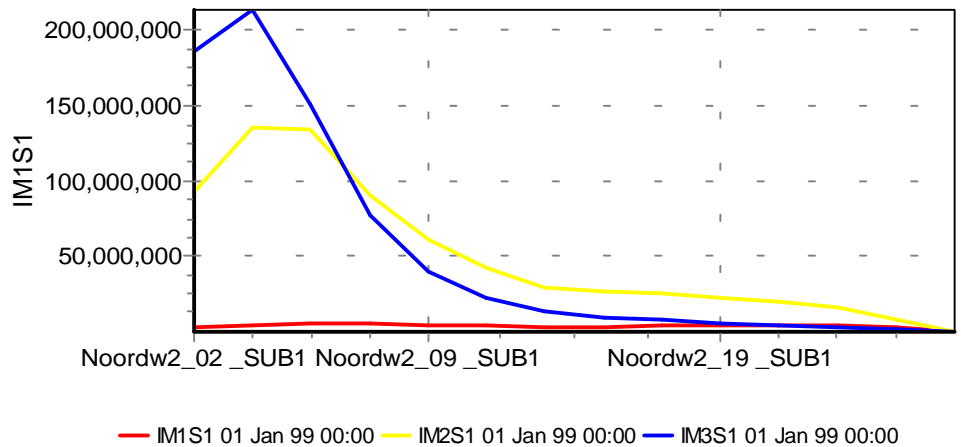
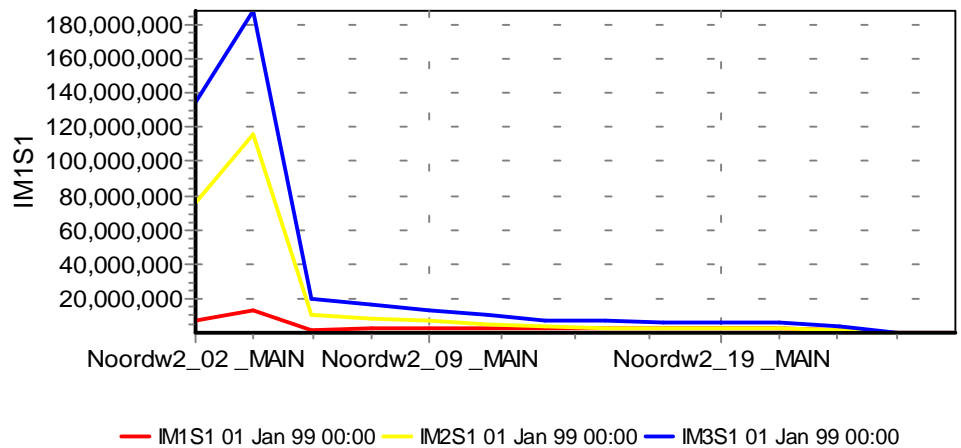
J.3.4 Duiker 20m²



J.3.5 Open verbinding



J.3.6 Berging 50000m²



Literatuurrapport: Doorstroommogelijkheden

Een studie naar de relatie tussen morfologie en ontwerp van kreken in een getij beïnvloed doorstroomgebied.

8 september 2005



Inhoudsopgave

1.	Overzicht	3
2.	Kader Noordwaard	4
2.1	Beoogde effectiviteit maatregel Noordwaard	4
2.1.1.	Taakstelling rivierengebied	4
2.1.2.	Effect Noordwaard korte termijn	4
2.1.3.	Methodiek randvoorwaardenboek 2001	5
2.2	Aanvullende maatregelen	6
2.2.1.	Invloed zomerpolders	6
2.2.2.	Zomerbedverdieping Merweden	7
2.2.3.	Project Dordtsche Biesbosch	7
2.2.4.	MER Beheer Haringvlietsluizen	7
3.	Hydraulica	9
3.1	Stationaire stroming	9
3.2	Stromingsweerstand	10
3.2.1.	Bodemvormen	10
3.2.2.	Vegetatie	13
4.	Morfologie	15
4.1	Sediment transport	15
4.1.1.	Bodemtransport	15
4.1.2.	Zwevend stof	16
4.2	Zwevend stof modelleringen	17
4.3	Statistische relatie zwevend stof concentratie	18
4.4	Sedimentverdeling splitsingspunten	20
5.	Morfologische gegevens	22
5.1	Morfologie van het NDB	22
5.2	Toekomstverwachtingen morfologie NDB	24
5.3	Referentieprojecten	25
5.3.1.	Dordtsche Biesbosch	25
5.3.2.	Gamerensche Waard	26
5.4	Waterbodemkwaliteit	27
5.4.1.	Kievitswaard en Overdiepse Polder	27
5.4.2.	Brabantsche Biesbosch	28
5.4.3.	Sliedrechtse Biesbosch	29
5.4.4.	Uiterwaarden Rijntakken	29
6.	Ecologie en ruimtelijke ontwikkeling	30
6.1	Inrichting en beheer uiterwaarden	30
6.2	Ecologie en inrichting nevengeulen	30
	Literatuur	32

1. Overzicht

Deze literatuurstudie hoort bij het hoofdrapport 'Doorstroommogelijkheden', waarin onderzoek gedaan is naar de relatie tussen de morfologie en de inrichting van doorstroomgebieden (met name ontwerp kreken). In de inleiding van het hoofdrapport (Hfst. 2) worden de achtergronden van de plannen voor het huidige landbouwgebied de Noordwaard beschreven.

In deze literatuurstudie wordt aanvullende informatie gegeven op de aan de literatuur ontleende gegevens, richtlijnen en fysische beschrijvingen. In het kort wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende informatiebronnen:

- Kader plannen Noordwaard (Hfst.2);
- Hydraulica (Hfst.3);
- Morfologie (Hfst.4);
- Referentieprojecten (Hfst.5);
 - morfologie NDB;
 - nevengeulen;
 - waterbodemkwaliteit.
- Ontwerp en inrichting van nevengeulen (Hfst.6).

2. Kader Noordwaard

2.1 Beoogde effectiviteit maatregel Noordwaard

2.1.1. Taakstelling rivierengebied

Voor het benedenrivierengebied is een korte en lange termijn taakstelling vastgelegd. Deze dient om de hydraulische effectiviteit van het maatregelenpakket te kunnen beoordelen. De lange termijn taakstelling is vastgelegd om te zien of het wenselijk is dat maatregelen die op lange termijn noodzakelijk zijn, al op korte termijn uitgevoerd kunnen worden. In de memo "Blokkendoos PKB en de lange termijn taakstelling BER" (Van der Linden, 2003) worden deze taakstellingen beschreven. Hieraan wordt ook gerefereerd in het hydraulisch effectenonderzoek van de startnotitie MER Ruimte voor de Rivier (2002).

De korte termijn taakstelling voor het BER-gebied is bepaald als het verschil tussen de Randvoorwaardenboeken 2001 en 1996 (HR2001 en HR1996). De situatie van 1996 dient daarbij als referentie, feitelijk worden de MHW standen van 1996 gehandhaafd. De lange termijn taakstelling is aan de hand van verschilberekeningen tussen 2000 en 2050/2100 bepaald. Deze lange termijn taakstelling is vastgelegd in de Spankracht Blokkendoos. Uitgegaan is van een stijging van de maatgevende afvoer van 3000m³/s over de Rijntakken. Door WL|Delft Hydraulics en HKV Lijn in Water (2002) zijn 30 realistische combinaties bepaald, waarop deze afvoer verdeeld kan worden over de Rijntakken. Tevens is rekening gehouden met een toename van de maatgevende Maasafvoer (+800m³/s), een stijging van de zeespiegel (+60cm) en de verwachte morfologische ontwikkelingen. In tabel 2.1 wordt de taakstelling voor zowel de korte als de lange termijn weergegeven.

Tabel 2.1: Taakstellingen voor enkele maatregelen Ruimte voor de Rivier

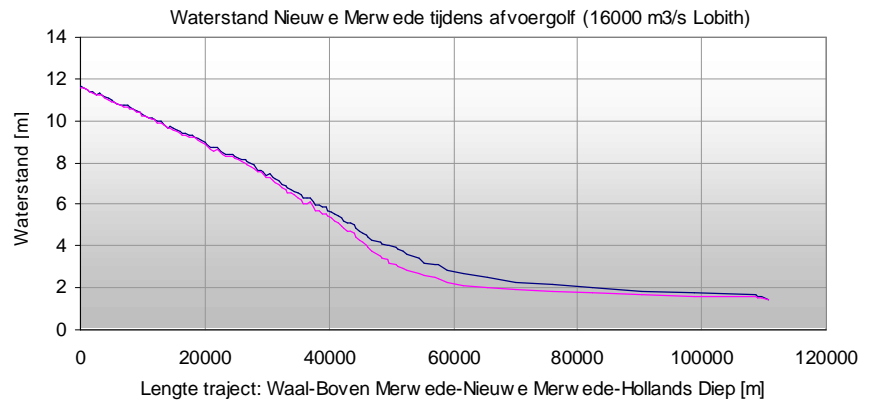
Termijn	Tijdshorizon	Rijn	Maas	Zeespiegel
		Afvoer [m ³ /s]	Afvoer [m ³ /s]	stijging [cm]
Kort	2015	16000	3800	-
Lang	2050/2100	18000	4600	60

2.1.2. Effect Noordwaard korte termijn

Het effect van de Noordwaard op de waterstanden van de Nieuwe en Boven Merwede (voor een MHW-golf van 16000m³/s bij Lobith) is afhankelijk van de afstand tot de maatregel. In figuur 2.1 worden de maatgevende waterstanden met en zonder de maatregel Noordwaard weergegeven. Figuur 2.2 geeft de waterstandsdaling over het tracé Boven Merwede - Nieuwe Merwede weer.

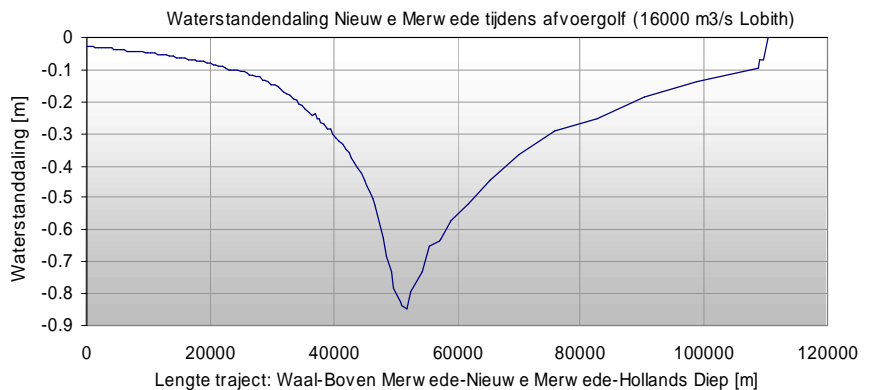
.....
 Figuur 2.1: Waterstand verlagend effect Noordwaard op de waterstand van de Nieuwe Merwede, bij een stationaire afvoer van 18000 m³/s bij Lobith.

- Gorinchem ligt ongeveer bij x=40000m.
- Overlaat van de Noordwaard aan de Nieuwe Merwede op x=50000m.



.....
 Figuur 2.2: Effect Noordwaard op de waterstand van de Nieuwe Merwede, bij een stationaire afvoer van 18000 m³/s bij Lobith.

- Gorinchem ligt ongeveer bij x=40000m.
- Overlaat van de Noordwaard aan de Nieuwe Merwede op x=50000m.



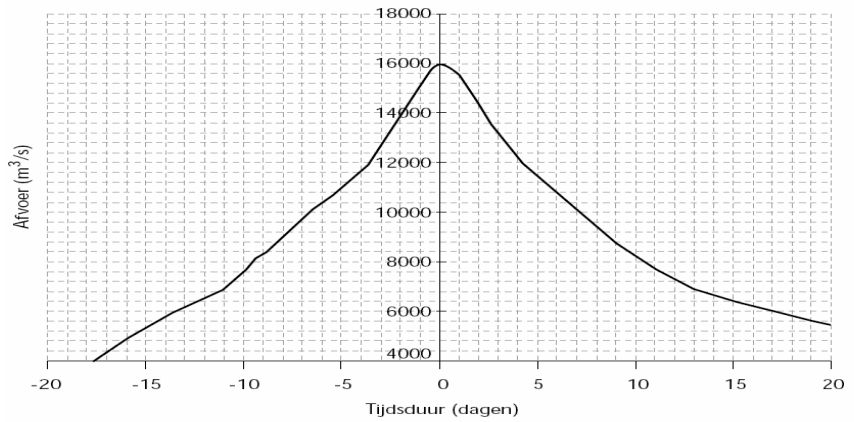
Bovenstaande grafieken geven een indruk van de effectiviteit van de maatregel 'landbouwgebied Noordwaard'. Aanvullende waterstandverlagende maatregelen worden nog onderzocht. Dit betreft een aantal ingrepen:

- Invloed zomerpolders;
 - Effect berging door juiste inzet (piekafvoer aftopping);
 - Invloed doorstroming van zomerpolders.
- Verdieping geulen in de Biesbosch (met name Gat van de Hil);
- Invloed vegetatie op effectiviteit polder.

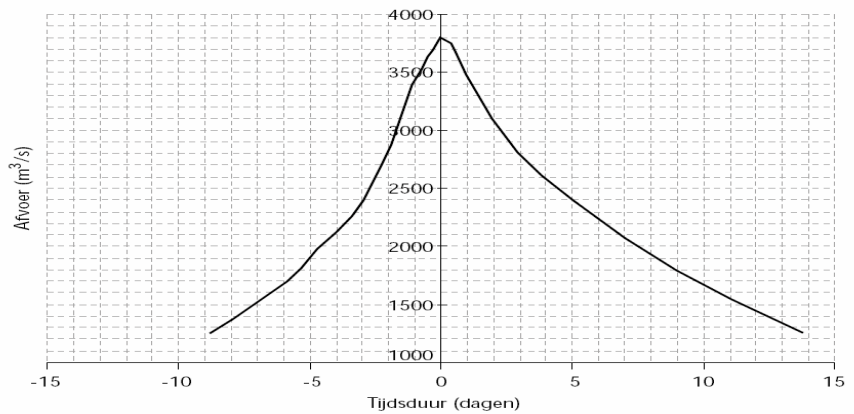
2.1.3. Methodiek randvoorwaardenboek 2001

Door Parmet et al. (2001) wordt een samenvatting gegeven van een vijftal rapporten (door HKV en WL|Delft Hydraulics) die betrekking hebben op de methodiek die gebruikt wordt om de maatgevende afvoer van de Rijn bij Lobith te bepalen. Hiervoor zijn verschillende methodieken, om deze afvoer te bepalen, tegen elkaar afgewogen. De gekozen maatgevende afvoer is onder andere gebruikt in het Randvoorwaardenboek 2001 (HR2001). Er is tevens onderzoek gedaan naar de vorm en herkomst van de afvoergolven. Met behulp van opschaling en regressie is men tot een nieuwe afvoergolf vorm gekomen die conservatiever is dan de vorm die in het Randvoorwaardenboek 1996 gebruikt is. Langemheen en Berger (2001) en Geerse (2003) refereren aan dit onderzoek en geven tevens de hoogwatergolf voor de Maas bij Borgharen weer (figuur 2.3 en 2.4).

.....
 Figuur 2.3: Representatieve afvoergolf voor de Rijn bij Lobith ($16000\text{m}^3/\text{s}$), volgens Langemheen en Berger (2001).



.....
 Figuur 2.4: Representatieve afvoergolf voor de Maas bij Borgharen ($3850\text{m}^3/\text{s}$), volgens Langemheen en Berger (2001).

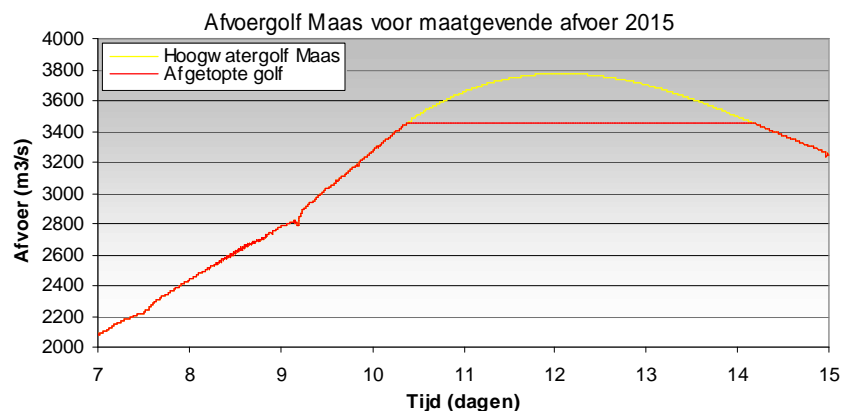


2.2 Aanvullende maatregelen

2.2.1. Invloed zomerpolders

Maatregelen waarbij berging van water een rol speelt, zijn al op enkele plaatsen uitgevoerd en tevens in het programma van Ruimte voor de Rivier begrepen. Een voorbeeld is de Overdiepse Polder die zowel water bergt als ruimte schept voor extra doorstroming. Binnen het hydraulische effect onderzoek van de PKB Ruimte voor de Rivier (2002) is dit voor de Maas uitgewerkt. Daarbij is een representatieve afvoergolf gekozen welke door een juiste inzet van de polder afgevlakt wordt. Figuur 2.5 is ontleend aan de hydraulische effect bepaling van de PKB Ruimte voor de Rivier, en geeft een beeld van de aftopping van een representatieve afvoergolf. In bijlage B wordt een inschatting gemaakt van de hydraulische effectiviteit van zomerpolders.

.....
 Figuur 2.5: Aftopping hoogwatergolf Maas door berging.



2.2.2. Zomerbedverdieping Merweden

Het onderzoek naar verdieping van de geulen van de Biesbosch staat niet op zichzelf. Er is door Ogink (2002) onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om met behulp van zomerbedverdieping van de Merweden de korte termijn doelstellingen te halen. De beoogde verlaging werd alleen gehaald wanneer het zomerbed van zowel de Boven als Beneden Merwede verlaagd worden. De terugkerende kosten van baggerwerkzaamheden zijn echter aanzienlijk. Een interessant aspect van het onderzoek zijn de sediment transporten en sedimentatie in het gebied, die duidelijk geschetst worden.

2.2.3. Project Dordtsche Biesbosch

Door Meijer en Van Bommel (2002) is gekeken naar de mogelijkheden om de Dordtsche Biesbosch als nevengeul voor de Nieuwe Merwede in te zetten. Daarbij is enerzijds gekeken naar het waterstandverlagend effect en anderzijds naar de inrichting van het gebied. Het waterstand verlagend effect lag in de orde van 6cm, en bleek in de praktijk niet toereikend voor zowel korte als lange termijn. Het project is gemodelleerd met behulp van SOBEK. Er is met name gefocussed op de hydraulische effecten. Tevens worden zand- en slibtransport op de Merweden gegeven, alsmede een globale schatting van de morfologische effecten van de maatregel (van Gelder, 2003), zie 5.3.1.

2.2.4. MER Beheer Haringvlietsluizen

In het rapport 'MER Beheer Haringvlietsluizen' (Van Vessum, 1998) wordt het effect van een ander beheer van de Haringvlietsluizen geanalyseerd. Een aantal verschillende varianten komen naar voren.

- Nul-alternatief;
- Gebroken getij;
- Getemd getij;
- Stormvloedkering.

Nul-alternatief (A)

Dit alternatief is het voortzetten van het huidige beheer van de Haringvlietsluizen (LPH'84). Het beheersprogramma is gericht op de veiligheid tegen overstroming en handhaving van de zoetwaterhuishouding in de zuidrand. De verdeling van de rivierafvoeren over het Noordelijk Deltabekken is zodanig, dat de kans op verzilting van de noordrand (de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas, de Hollandsche IJssel en de Lek) minimaal is. De Haringvlietsluizen functioneren als uitwateringssluizen, die alleen bij eb open gaan, voor zover er rivierwater moet worden gespuid.

Gebroken getij (B)

In tegenstelling tot het huidige spuiprogramma staan de sluisen bij dit alternatief ook bij vloed een gedeelte van de tijd beperkt open (ca 1200m²), waardoor het zoute water uit het mondingsgebied het Haringvliet kan binnendringen. Uitgangspunt is dat er geen significante toename van de verzilting van de Hollandsche IJssel en het zoetwaterinnamepunt van de Bernisse mag plaats vinden.

Getemd getij (C)

Bij dit sluisbeheer staan de sluisen meestal (95% van de tijd), gedeeltelijk (circa 2000m²) tot geheel open. Bij toenemende rivierafvoer gaan de sluisen bij dit sluisbeheer steeds verder open. Er mag echter geen significante toename zijn van de verzilting van het Spui ter hoogte van het innamepunt van de Bernisse.

Stormvloedkering (D)

Bij dit beheer functioneren de sluisen als stormvloedkering. De sluisen staan in principe altijd volledig open (6000m²). Alleen als de veiligheid dit vereist, worden de sluisen gesloten.

Voor alle alternatieven geldt, dat geen sterk verontreinigd riviersediment uit vroeger jaren door hogere stroomsnelheden mag worden losgewoeld en weggespoeld naar zee. Indien dit zo is, dient eerst gesaneerd te worden. De alternatieven zijn verder beoordeeld op twee aspecten:

- Het gewenste herstel van de estuariene natuur;
- De duurzame gebruiksmogelijkheden voor de mens.

Uit de analyse komt naar voren dat het huidige programma en het gebroken getij niet voldoen, wat betreft herstel van de estuariene omgeving. Aangezien het alternatief stormvloedkering erg duur is, en tot grote verziltingsproblemen leidt, is gekozen voor het alternatief getemd getij. Dit alternatief wordt stapsgewijs ingevoerd. Als eerste zal een tussenstap, het plan 'Kier' (E), uitgevoerd worden.

.....
Tabel 2.2: Eigenschappen van de vier alternatieven in het MER beheer Haringvlietsluizen, en het overgangs-alternatief de Kier (E).

Aspect \ Alternatief	A	B	E	C	D
Getijslag mondingsgebied [m]	2,3	2,2	2,2	1,7	1,4
Getijslag Middelharnis [m]	0,3	0,4	0,3	0,7	0,9
Getijslag Brabantse Biesbosch [m]	0,3	0,4	0,4	1,0	1,3
Getij-onderbreking [dagen/jaar]	365	200	20	20	0
Lengte min./max. zoet-zoutgradient [km]	0-10	0-13	7-18	11-26	18-35
Kans op zuurstofloosheid [keer per n-jaar]	0	1/7	1/100	1/100	0
Morfodynamiek (kwalitatief)	o	o	o	+	++
Getijslag mondingsgebied [m]	2,3	2,2	2,2	1,7	1,4
Getijslag Middelharnis [m]	0,3	0,4	0,3	0,7	0,9

3. Hydraulica

3.1 Stationaire stroming

In het dictaat 'Rivierwaterbouwkunde' (Havinga et al, 2002) wordt de theorie van stationaire stromingen beschreven. Voor het beschrijven van een ondiep recht kanaal met een prismatische dwarsdoorsnede is een continuïteitsvergelijking en een bewegingsvergelijking nodig.

$$\text{Continuïteit} \quad \frac{d(uh)}{dx} = 0 \quad [1]$$

$$\text{Beweging} \quad u \frac{du}{dx} = g i_b - g \frac{dh}{dx} - \frac{g}{C^2} \frac{u^2}{h} \quad [2]$$

u	= stroomsnelheid	[m/s]
x	= locatie over lengte as	[m]
h	= waterdiepte	[m]
g	= zwaartekrachtversnelling	[m/s ²]
i _b	= verhang	[-]
C	= chézy ruwheidscoëfficiënt	[m ^{1/2} /s]

Uitgaande van de grensdiepte (Fr=1) en de evenwichtsdiepte (volgens Chézy) is uit deze vergelijkingen de formule van Bélanger afgeleid, welke de verhanglijn voor rechtlijnige stationaire stroming beschrijft. Deze formule is voor kleine Froude getallen te benaderen door de volgende formulering.

$$\frac{dh}{dx} = i_b \left[1 - \frac{h_e^3}{h^3} \right] \quad [3]$$

h _e	= evenwichtsdiepte	[m]
----------------	--------------------	-----

Door Bresse is een benadering afgeleid, die de halvering van verstoringen in de backwatercurves beschrijft.

$$h = h_e + (h_0 - h_e) \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{x-x_0}{L_{1/2}}} \quad [4]$$

h ₀	= initiële waterstand op x=0	[m]
L _{1/2}	= halveringslengte	[m]

Indien als randvoorwaarden h=h₀ en x=x₀ gebruikt worden, volgt de volgende formulering voor de halveringslengte.

$$L_{1/2} = \frac{0.24h_e}{i_b} \left(\frac{h_0}{h_e} \right)^3 \quad [5]$$

Uit bovenstaande formulering kan een richtlijn voor de locatie van randen van een model tot het interesse gebied afgeleid worden.

$$L_{rand} = \frac{3 \cdot h}{i_b} \quad [6]$$

Door Havinga et al. (2002) worden ook voor niet-stationaire afvoeren, zoals hoogwatergolven, de bewegings- en continuïteitsvergelijkingen beschreven.

$$\text{Continuïteit} \quad \frac{\partial A_t}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad [7]$$

$$\text{Beweging} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(a_B \frac{Q^2}{A_f} \right) + gA_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 R A_f} = 0 \quad [8]$$

R	= hydraulische straal (A/O)	[m]
A _f	= oppervlakte van het stroomvoerende dwarsprofiel	[m ²]
A _t	= totale oppervlakte van het dwarsprofiel	[m ²]
Q	= afvoer	[m ³ /s]
t	= tijd	[s]
α	= bousinesq constante	[-]

In SOBEK wordt een aangepaste versie van deze vergelijkingen toegepast (WL|Delft Hydraulics, 2001), waarin ook de zoutbeweging meegenomen wordt.

3.2 Stromingsweerstand

De waterbeweging door rivieren, uiterwaarden of nevengeulen wordt grotendeels bepaald door de stromingsweerstand (of hydraulische ruwheid). De totale hydraulische ruwheid wordt bepaald door bodemruwheid en vegetatieruwheid. Bij rivieren is de ruwheid ten gevolge van bodemvormen dominant, terwijl bij uiterwaarden en nevengeulen de ruwheid zeer sterk door vegetatie wordt bepaald.

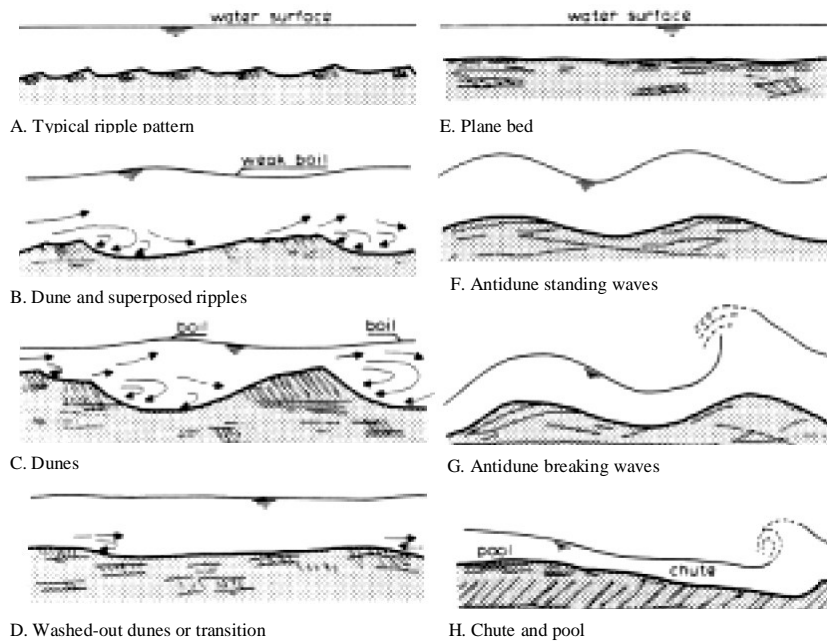
3.2.1 Bodemvormen

De bodemruwheid in een alluviale rivier wordt bepaald door een aantal bodemvormen (Jansen et al., 1979).

- Gladde bodem;
- Mini-Ribbels;
- Mega-ribbels;
- Duinen;
- Anti-duinen.

Voor een beschrijving van de verschillende bodemvormen wordt door Jansen verwezen naar onderzoek van Simons en Richardson (1961). In figuur 3.1 worden de verschillende bodemvormen verduidelijkt.

.....
 Figuur 3.1: Bodemvormen (Simons & Richardson, 1961).

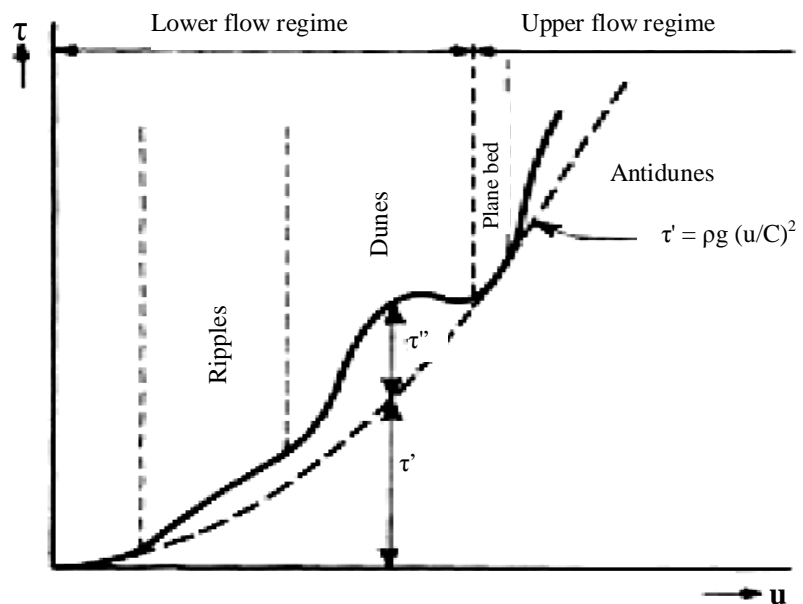


Tevens wordt beschreven onder welke omstandigheden een bepaald bodemtype zich voordoet (figuur 3.2). De bepalende parameter voor de bodemvorm is de bodemschuifspanning (τ').

$$t' = \frac{\rho g}{C^2} u^2 \quad [9]$$

ρ	= soortelijk gewicht	[kg/m ³]
τ'	= bodemschuifspanning	[N/m ²]

.....
 Figuur 3.2: Bodemschuifspanning als functie van de diepte gemiddelde stroomsnelheden (Van Rijn, 1984).



De ruwheid van een gladde bodem wordt bepaald door de korrel-diameter van het sediment (White Colebrook).

$$C' = 18 \log \left(\frac{12h}{k} \right) \quad ; \quad k = 3D_{90} \quad [10]$$

k	= Nikuradse ruwheidshoogte	[m]
D ₉₀	= korrel diameter die door 10% overschreden wordt	[m]

Door Van Rijn (1982B) wordt beschreven, dat het type bodemvorm afhankelijk is van het verschil tussen bodemschuifspanning en kritische schuifspanning van het sediment (T) en van de dimensieloze korrel diameter (D*).

$$\text{Bodemvormtype} = \text{functie}(T, D_*) \quad [11]$$

$$T = \frac{t' - t_{cr}}{t_{cr}} \quad [12]$$

$$D_* = D_{50} \left(\frac{u^2}{\Delta g} \right)^{-1/3} \quad [13]$$

v	= kinematische viscositeit	[m ² /s]
---	----------------------------	---------------------

In tabel 3.1 worden de bodemvormen weergegeven die met bovenstaande formulering te onderscheiden zijn.

Tabel 3.1: Karakterisering bodemtypen.

	Transport regiem	Korrel diameter	
		1 < D < 10	D > 10
Benedenstrooms	0 < T < 3	mini-ribbels	duinen
	3 < T < 10	mega-ribbels/duinen	duinen
Overgang	10 < T < 15	duinen	duinen
	15 < T < 25	verspoelde duinen en zand golven	
Bovenstrooms	T > 25, Fr < 0,8	symmetrische zand golven	
	T > 25, Fr > 0,8	vlak bed en anti-duinen	

Ook de afmetingen van de bodemvormen zijn afhankelijk van bovenstaande parameters (T en D*) en van de waterdiepte, hiermee valt een Nikuradse ruwheid voor de bodemvorm te bepalen. De totale Nikuradse ruwheid van het sediment wordt bepaald door bodemvorm en sediment (korrel) ruwheid.

$$k'' = \text{functie} \left(d, \frac{d}{l}, g \right) \quad [14]$$

$$k = k' + k'' \quad [15]$$

δ	= hoogte bodemvorm	[m]
λ	= lengte bodemvorm	[m]
γ	= vormfactor	[-]
k'	= ruwheidshoogte door sediment korrels	[m]
k''	= ruwheidshoogte door bodemvormen	[m]

3.2.2. Vegetatie

In het werkdocument 'Stromingsweerstandvegetatie in uiterwaarden' (Van Velzen et al., 2002) wordt de invloed van vegetatie op de ruwheid van de bodem uiteengezet. Ten behoeve hiervan zijn een aantal verschillende vegetatie typen onderscheiden waarvoor de ruwheidsparameters zijn bepaald. Deze vegetatie typen zijn:

- Pioniervegetatie;
- Graslanden;
- Ruigten;
- Moerasvegetatie;
- Struwelen;
- Bossen;
- Overige typen*.

* Aangelegde/aangeplante typen: akkers, boomgaarden, heggen etc

Er worden benaderingen gegeven van de (Nikuradse) ruwheid parameter voor de vegetatietypen. Gesteld wordt dat de invloed van de vegetatie op de ruwheid niet alleen bepaald wordt door het type vegetatie, maar dat ook aspecten als hoogte, dichtheid en de spreiding belangrijk zijn voor de ruwheid. Om al deze aspecten mee te nemen zijn formuleringen gegeven voor:

- Doorstroomde vegetatie;
- Door- en overstroomde vegetatie;
- Combinaties van verschillende soorten vegetatie;
- Invloed van spreiding van vegetatie over het landschap.

Voor de doorstroomde vegetatie wordt gerefereerd aan Klaassen en Van der Zwaard (1974), welke met behulp van een krachtenbalans de stromingsweerstand (eng: dragforce) bepaalden. Deze weerstand is herschreven tot een representatieve Chézy coëfficiënt, deze blijkt in de praktijk goed te voldoen. Bij ondiep water voldoet deze benadering zelfs beter dan de formuleringen waarin onderscheid gemaakt wordt tussen onder- en bovengroei.

$$C_r = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\frac{A_r \cdot h \cdot C_d}{2g} + \frac{1}{C_b^2}}} \quad [16]$$

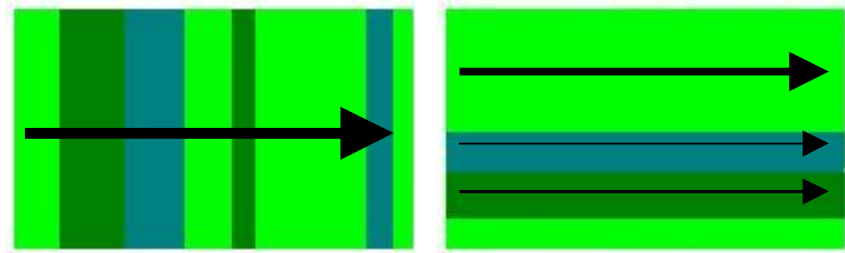
C_r	= representatieve Chezy coëfficiënt	$[m^{1/2}/s]$
C_b	= chézy coëfficiënt van de bodem/ondergroei	$[m^{1/2}/s]$
C_d	= weerstandscoefficiënt (drag coëfficiënt)	$[-]$
A_r	= aangestroomd oppervlak (voor boven en ondergroei, resp. A_{rb} , A_{ro})	$[m^2]$

Voor de weerstand van overstroomde vegetatie is een benadering onderzocht (Klaassen et al., 1999), [17]. Er wordt in deze benadering uitgegaan van een constante stroomsnelheid (niet hoogte gerelateerd) binnen de doorstroomde vegetatie. Een complexe analytische benadering, opgezet door Klopstra et al. (1996) houdt hier wel rekening mee, maar valt buiten de orde van dit onderzoek.

$$C_r = \frac{k_0 \sqrt{\frac{2g}{C_d m_0 D_0}} + (k - k_0) \sqrt{\frac{2g}{C_d m D}} + (h - k) \left[\sqrt{\frac{2g}{C_d m D}} + C_v \sqrt{h - k} \right]}{h \sqrt{h}} \quad [17]$$

Verschillende typen vegetatie kunnen gecombineerd worden. Daarbij speelt de ruimtelijke oriëntatie ten opzichte van de stroomrichting tevens een rol. Twee hoofdrichtingen kunnen onderscheiden worden, namelijk 'dwars op' of 'parallel aan' de stroming. De bijdrage van elk vegetatie element kan opgeteld worden, als deze achter elkaar dwars op de stroomrichting georiënteerd worden (figuur 3.3).

.....
 Figuur 3.3: Seriële en parallelle weerstand



De weerstand van dwars op of in de stroomrichting georiënteerde vegetatie kan benaderd worden met de vergelijkingen 18 en 19.

$$C_{tot} = C_i + C_j \quad [18]$$

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_i} + \frac{1}{C_j} \quad [19]$$

4. Morfologie

4.1 Sediment transport

De morfologie van een rivier wordt bepaald door sedimenttransportprocessen. Hierin worden twee hoofdtypen onderscheiden, namelijk bodem en zwevend transport (Havinga et al., 2002).

4.1.1. Bodemtransport

Bodemtransport bestaat hoofdzakelijk uit zand (en grind). Hiervoor zijn theoretische modellen ontwikkeld door Engelund-Hansen (1967), Ackers & White (1973), en Van Rijn (1984A). De transportformule van Engelund-Hansen [20, 21] is ook in handmatige calculaties eenvoudig te hanteren. Op benedenstroomse (delta) rivieren voldoet de geldigheid van het model in de meeste gevallen.

$$s = m \cdot u^n \quad [20]$$

$$m = \frac{0,05}{\sqrt{g C^3 \Delta^2 D_{50}}} \quad [21]$$

s	= zandtransport per eenheid van breedte	[m ² /s]
u	= stroomsnelheid	[m/s]
Δ	= massa verhouding sediment-water (ρ _s -ρ _w)/ρ _s	[-]
D ₅₀	= mediane korrel diameter	[m]
m	= evenredigheidsparameter Engelund-Hansen	[m ³ /s ⁴]

Om de transportformule van Engelund-Hansen te gebruiken dient aan de volgende criteria voldaan te worden:

Globaal Criterium: $\frac{w_s}{u_*} < 1$ [22]

of: Criterium 1: $0,19mm < D_{50} < 0,93mm$ [23]

Criterium 2: $0,07 < q < 6$ [24]

w _s	= valsnelheid korrel zandfractie	[m/s]
θ	= shieldparameter	[-]

In sommige gevallen wordt niet voldaan aan bovenstaande criteria. Bij grover sediment is het vaak mogelijk de transportformule van Meyer-Peter-Müller [25] te gebruiken (Meyer-Peter en Müller, 1948).

$$s = 8\sqrt{g\Delta D^3} (mq - 0,047)^{3/2} \quad [25]$$

μ	= ribbelfactor	[-]
---	----------------	-----

De Meyer-Peter-Müller transportformulering heeft een geldigheidsgebied dat bepaald wordt door de volgende criteria.

$$\text{Globaal Criterium: } \frac{w_s}{u_*} > 1 \quad [26]$$

$$\text{of: Criterium 1: } D_{50} > 0,4\text{mm} \quad [27]$$

$$\text{Criterium 2: } \mathbf{mq} < 0,2 \quad [28]$$

Naast de transportvergelijking [20 of 25] wordt in SOBEK gebruik gemaakt van de volgende continuïteitsvergelijking voor sediment.

$$\frac{1}{1 - e_p} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad [29]$$

A	= oppervlak dwarsprofiel	[m ²]
S	= sedimenttransport over het dwarsprofiel	[m ³ /s]
t	= tijdseenheid	[s]

4.1.2. Zwevend stof

Zwevend stof transport bestaat voornamelijk uit slib en fijn zand. Het wordt beïnvloed door verschillende processen, waarvan turbulente menging en uitzakking de voornaamste zijn. Binnen DELWAQ wordt voor deze processen de volgende (1D) benadering toegepast.

$$\frac{dC}{dt} = -v_x \frac{dC}{dx} + \frac{d}{dx} \left(D_x \frac{dC}{dx} \right) - M \quad [30]$$

C	= concentratie stof	[kg/m ³]
t	= tijd	[s]
v _x	= stroomsnelheid x-richting	[m/s]
D _x	= dispersiecoëfficiënt in de x-richting	[m ² /s]
M	= bron- of puttermen	[-]

De drie componenten aan de rechterzijde van de vergelijking beschrijven respectievelijk de meevoering van suspensief materiaal door de stroming, dispersie (door turbulente menging of gradiënten in de snelheidsprofielen) en de uitwisseling met de bodem door sedimentatie of erosie. De sedimentatieflux wordt bepaald door de valsnelheid van een deeltje en de kritische schuifspanning. Indien deze schuifspanning boven een kritische waarde komt, zal geen sedimentatie meer plaats vinden. De sedimentatie van zwevend stof wordt beschreven door Krone (1962).

$$F_{s,i} = 0 \quad t_b > t_{s,cr(i)} \quad [31]$$

$$F_{s,i} = W_{s,i} C_i \left[1 - \left(\frac{t_b}{t_{s,cr(i)}} \right) \right] \quad t_b < t_{s,cr(i)} \quad [32]$$

$F_{s,i}$	= sedimentatieflex fractie i	[kg/m ² s]
τ_b	= schuifspanning aan de bodem	[N/m ²]
$\tau_{s,cr}$	= kritische schuifspanning voor sedimentatie	[N/m ²]
C_i	= concentratie zwevend stof	[kg/m ³]
$W_{s,i}$	= valsnelheid fractie i	[m/s]

Erosie van de bodem wordt beschreven door Partheniades (1965). In deze formulering wordt met behulp van de kritische schuifspanning en een erosieconstante aan de bodem een erosieflux bepaald.

$$F_e = 0 \quad t_b \leq t_{e,cr} \quad [33]$$

$$F_e = M_e \left[\left(\frac{t_b}{t_{e,cr}} \right) - 1 \right] \quad t_b > t_{e,cr} \quad [34]$$

F_e	= erosieflux	[kg/m ² s]
$T_{e,cr}$	= kritische schuifspanning voor erosie	[N/m ²]
M_e	= concentratie zwevend stof	[kg/m ² s]

4.2 Zwevend stof modelleringen

Zwevend sediment kent een wijde gradering van korreldiameters. Verschillende (korrel)fracties kunnen zich echter zeer verschillend gedragen (o.a. door verschillen in valsnelheden). Binnen DELWAQ wordt daarom onderscheid gemaakt tussen drie zwevend stof componenten (WL|Delft Hydraulics, 2000).

Tabel 4.1: Componenten zwevend stof.

Model	Type
Fijn slib	IM1
Geflocculeerd slib	IM2
Fijn zand	IM3

De gemeten zwevend stof concentratie wordt opgedeeld in drie componenten, waarbij een 1/3 verdeling voor elk van de componenten gehanteerd wordt (Van Wijngaarden & Ludikhuizen, 1998, Sloot & Van den Berg, 2000 en Visser & Snippen, 2002).

In DELWAQ wordt de met SOBEK berekende waterbeweging gebruikt om (zonder terugkoppeling) de zwevend stof beweging na te bootsen. De procesconstanten die voor deze simulatie nodig zijn, zijn voor veel onderzoeken gelijk. In tabel 4.2 worden de procesconstanten weergegeven zoals deze door Van Wijngaarden (1998), Van Wijngaarden en Ludikhuizen (1998), Middelkoop (1997) en Visser en Snippen (2002) bij vergelijkbare projecten gebruikt zijn.

Tabel 4.2: Proces parameters slibtransport DELWAQ.

Procesconstanten	Waarde	SOBEK naam	Waarde
Sedimentatiesnelheid ($w_{s,i}$)			
• Niet geflocculeerd slib	0,25	m/d	VsedIM1
• Geflocculeerd slib	10	m/d	VsedIM2
• Fijn zand	25	m/d	VsedIM3

Kritische snelheid voor sedimentatie ($V_{s,cr(i)}$)					
• Niet geflocculeerd slib	0,25	m/s	TaucSIM1	0,55	N/m ²
• Geflocculeerd slib	0,50	m/s	TaucSIM2	2,11	N/m ²
• Fijn zand	0,75	m/s	TaucSIM3	4,97	N/m ²

Erosie parameters					
Erosiesnelheidsconstante (M_e)	0,50	kg/m ² d	ZresDM		
Kritische snelheid voor erosie ($V_{e,cr}$)	0,50	m/s	TaucRS1DM	2,11	N/m ²

Bovenstaande parameters zijn ook gevonden middels veld- en laboratoriumonderzoek, en veelal door gebruik van de modellen opgesteld. Van Wijngaarden verwijst hiervoor naar Verbeek et al. (1995). Er kunnen soms echter ook grote verschillen optreden tussen laboratorium en veldmetingen. Dit betreft vooral de onzekerheid in de erosieconstante (M_e). Volgens Van Wijngaarden (1998) is de kritische snelheid voor erosie/sedimentatie met een betrouwbaarheid interval van (+/-10%) bepaald. Tevens wordt aangegeven dat de onzekerheid in de parameters voor sedimentatie vrij klein is.

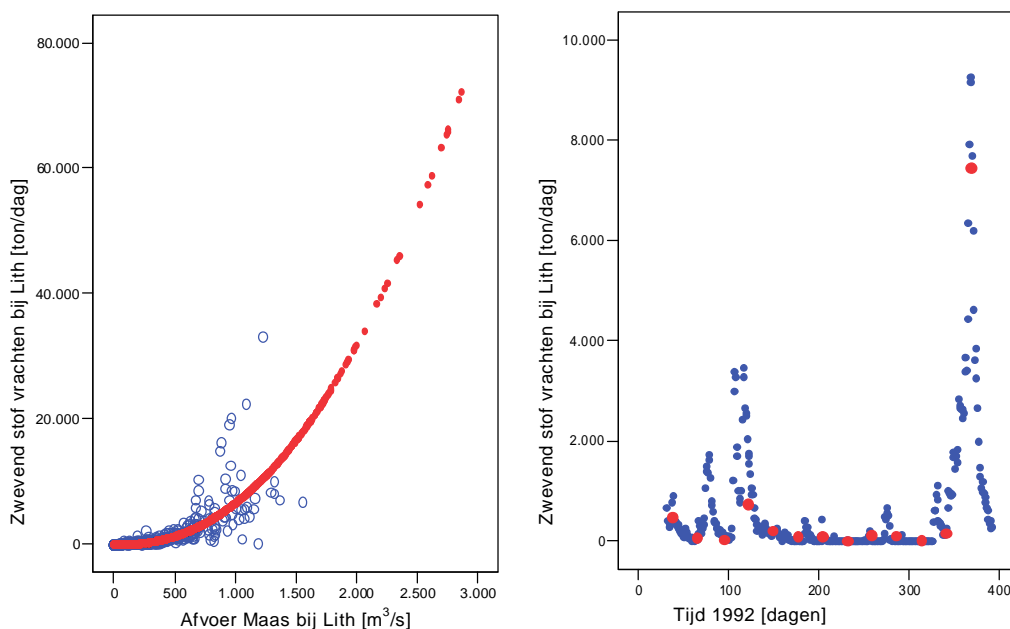
Uit de morfologische analyses voor de MER van de Haringvlietsluizen (Van Wijngaarden en Ludikhuizen, 1998) blijkt dat bovenstaande procesconstanten reële modeluitkomsten geven voor het Haringvliet en Hollandsch Diep. De verwachting is dat dit in de Noordwaard ook het geval is.

4.3 Statistische relatie zwevend stof concentratie

Door Snippen et al. (2005) zijn de zwevend stofvrachten te Hagestein en Lith [ton/dag] gedurende de jaren 1965 t/m 1992 uitgezet tegen de afvoer (open blauwe rondjes in figuur 4.1), door de onderschrijdingsfrequenties van afvoer en zwevend stof concentraties te koppelen. Met behulp van deze relaties kan de zwevend stof vracht op verschillende locaties op een intelligente manier geschat worden, ook als er vrijwel geen meetdata beschikbaar is.

Figuur 4.1 (Links): Relatie tussen afvoer [m^3/s] en zwevend stof vracht [ton/dag] bij Lith (rode lijn) (Snippen et al. ,2005).

Figuur 4.2 (Rechts): Metingen (rood) en berekening (blauw) van de zwevend stof vracht [ton/dag] bij Lith voor het jaar 1992 (Snippen et al. ,2005).



Voor Lobith en Lith zijn deze relaties in het werkdocument 'Sedimentbalans 1960-2000 zwevend stofvracht Rijn en Maas' (Fioole et al., 2002) reeds bepaald. Deze vrachten zijn om te rekenen tot zwevend stof concentraties door het quotiënt van de afvoer te nemen. De eenvoudige benadering, die tevens door Snippen et al. (2005) is gebruikt, gaat uit van een vergelijking in de vorm: zwevend stof concentratie = a + b * afvoer^C.

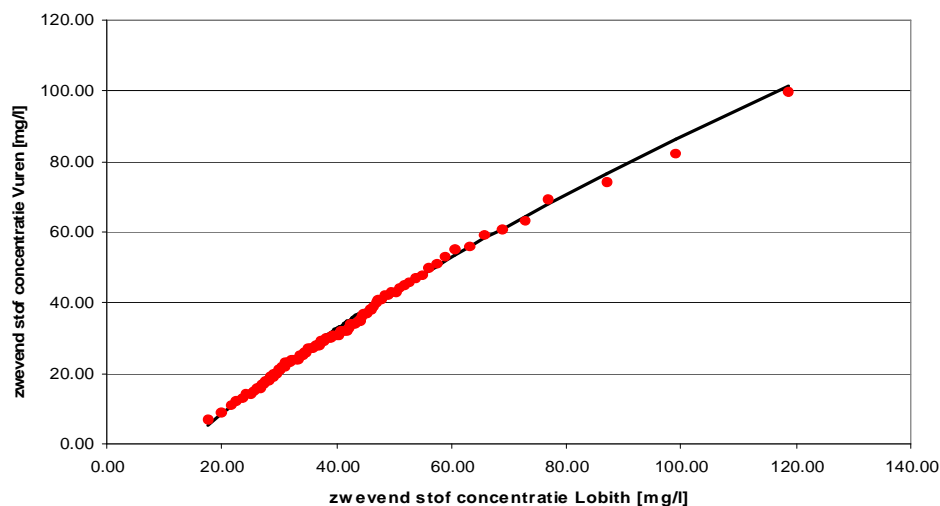
Tabel 4.3: Relaties tussen de vrachten en afvoeren bij Lobith en Lith (Fioole et al., 2002).

Locatie	Geldigheid	Benadering [ton/dag]	
Lobith	< 2750 m ³ /s	$Vracht_{lobith} = 858 + 0,1411 * Q_{lith}^{1,342}$	[36]
	>2750 m ³ /s	$Vracht_{lobith} = 6676 + 0,388 * (Q_{lobith}-2750)^{1,43}$	[37]
Lith	<250 m ³ /s	$Vracht_{lith} = 1,218 * Q_{lith}^{0,98}$	[38]
	>250m ³ /s	$Vracht_{lith} = 273 + 0,81 * (Q_{lith}-250)^{1,32}$	[39]

$Vracht_{locatie}$	= vracht op desbetreffende locatie	[ton/dag]
$Q_{locatie}$	= afvoer op desbetreffende locatie	[m ³ /s]

Door de onderschrijdingsfrequenties van de gemeten zwevend stof vrachten bij Lobith en een ander meetstation tegen elkaar uit te zetten is tevens een relatie verkregen voor de zwevend stof vrachten en concentraties bij andere stations (Dus: hoogste 10% Lobith tegen hoogste 10% Ochten etc.). Door deze methode wordt tevens het verschil in looptijd tussen Lobith en de andere locaties geëlimineerd. Figuur 4.3 geeft de relatie voor Hagestein weer.

Figuur 4.3: Relatie tussen de frequentieverdelingen van zwevend stof concentraties bij Lobith en Vuren (Snippen et al., 2005).



In tabel 4.4 staan achter de verschillend meetstations, de jaren waarin gemeten is, en de vergelijkingen die de relaties tussen de zwevend stof concentraties op verschillende locaties beschrijven.

Tabel 4.4: Relaties tussen de zwevend stof concentraties op verschillende plaatsen met Lobith (Snippen et al., 2005).

Locatie	Beschikbare jaren	Vergelijking	
Ochten	1965 t/m 1981	$Zwst = -115.6 + 27.153 * zwstlob^{0.47}$	[40]
Vuren	1960 t/m 1992	$Zwst = -34 + 6.07 * zwstlob^{0.65}$	[41]
Hardinxveld	1975 t/m 1992	$Zwst = -589 + 492.9 * zwstlob^{0.066}$	[42]
Zuidhaven	1971 t/m 1988	$Zwst = -47 + 6.72 * zwstlob^{0.64}$	[43]
Moerdijk	1961 t/m 1987	$Zwst = -17.7 + 0.47 * zwstlob^{1.18}$	[44]

Voor Hagestein is de volgende relatie gegeven.

Tabel 4.5: Relatie tussen de zwevend stof concentraties bij Hagestein en Lobith (Snippen et al., 2005).

Locatie	Vergelijking
Hagestein (Lek)	$Zwst = -5.14 + 0.0000702 * Q_{lobith}^{1.645}$

[45]

Zwst(locatie)	= zwevend stofgehalte 'locatie'	[mg/l]
Q_{lobith}	= afvoer te Lith	[m ³ /s]

4.4 Sedimentverdeling splitsingspunten

Op splitsingspunten vindt een verdeling van de sedimentlast plaats. Deze sedimentverdeling is meestal niet evenredig aan de verdeling van de afvoer. Met name voor bodemtransport kan de verhouding tussen water en sedimentafvoer erg scheef zijn. In het rapport 'Zandverdeling bij splitsingspunten' (Akkerman, 1993) worden verschillende methoden gegeven voor de bepaling van de zandverdeling evenals enkele aspecten die van invloed zijn op de sedimenttoevoer naar een nevengeul. Deze invloedsfactoren zijn:

- Bochtstroming;
- Locatie afsplitsing (plaats, hoek);
- Verhouding bodem en zwevend sedimenttransport;
- Inlaatwerken (met name drempel constructie).

Ankum en Brouwer (1993) beschrijven bovenstaande invloedsfactoren vrij goed. Door bochtstroming wordt de evenredige verdeling van sediment over verschillende takken verstoord. De plaatsing van de inlaat in de bocht heeft hierop een grote invloed. In tabel 4.5 wordt de invloed van een inlaatpunt op verschillende plaatsen in een bocht aangegeven, als het onttrokken debiet 50% van de totale afvoer is.

Tabel 4.5: Effect locatie inlaat in een bocht op de sediment toevoer.

Maatregel	Invloed locatie wateronttrekking op bodemtransport	
Kwart binnenbocht	50% debiet	100 % bodemtransport
Begin buitenbocht	50% debiet	100 % bodemtransport
Helft buitenbocht	50% debiet	25 % bodemtransport
Einde buitenbocht	50% debiet	0 % bodemtransport

In het kort kan gesteld worden dat een plaatsing in het begin van of in de binnenbocht voor een versterkte sedimenttoevoer zorgt, terwijl bij plaatsing aan het einde van een buitenbocht minder sediment wordt onttrokken.

Door middel van constructies kan de sedimentverdeling op een splitsing echter beïnvloed worden, waardoor de toevoer van sediment vergroot of verkleind wordt. Het eerste aspect wat een rol speelt is de hoek die de inlaat maakt met de hoofdgeul. Over het algemeen zal bij een kleinere hoek (parallel = 0°) minder sediment toegevoerd worden. Akkerman geeft aan dat indien de hoek kleiner wordt gekozen dan een waarde β_{max} , het ontstaan van neren wordt voorkomen en er geen extra sediment aangetrokken wordt. Deze kritische hoek is afhankelijk van de stroomsnelheden.

$$b_{\max} = \arccos\left(\frac{v_{\text{inlaat}}}{v_{\text{rivier}}}\right) \quad [35]$$

β_{\max}	= kritische hoek voor het ontstaan van neren	[-]
v_{inlaat}	= stroomsnelheid in de inlaatgeul	[m/s]
v_{rivier}	= stroomsnelheid in de rivier	[m/s]

De sedimentafname bij een rechte instroomhoek hangt tevens af van de korrelgrootte van het sediment.

Tabel 4.6: Effect korreldiameter op de sedimentverdeling bij een inlaat met een instroomhoek van 90 graden.

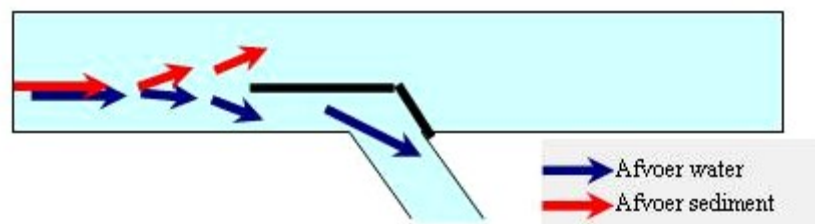
Sediment inname (als % van totaal) bij een 50% debiet aftapping							
D_{90} [mm]	< 10	< 5	< 2	< 0,8	< 0,4	< 0,3	< 0,2
% Sed.	91%	85%	76%	72%	69%	60%	51%

Ook door verschillende constructieve maatregelen kan de sediment toevoer naar het kanaal beïnvloed worden. De meeste van deze constructies dienen er toe de spiraalstroming op een gunstige manier te gebruiken of de neren bij de inlaat te verplaatsen. Allereerst zijn er de dammen, waarin een aantal soorten is te onderscheiden:

- Streckdam;
- Krib;
- Speermuur;
- Gibb's groyne.

De krib en de strekdam verplaatsen de negatieve werking van neren naar een andere plaats, waardoor minder toevoer bij de inlaat zou kunnen optreden. Voor de speermuur en de Gibb's groyne geldt dat de hoek van aansluiting van de inlaat zo klein mogelijk gemaakt wordt. De Gibb's groyne is een korte constructie die er vooral toe dient om een evenredig deel van het sediment af te voeren. De speermuur is een lange constructie, waardoor aanzienlijk minder sediment toegevoerd wordt. In figuur 4.4 wordt dit effect gevisualiseerd.

Figuur 4.4: Illustratie van de sedimentverdeling bij een inlaat met speermuur.



Andere (uitgebreidere) constructieve maatregelen zijn:

- Spui tunnel;
- Schermen (bodem en drijvende schermen);
- Dremfels.

Tevens worden door Ankum en Brouwer (1993) veel relevante hydrologische, hydraulische en morfologische parameters voor de Waal beschreven.

5. Morfologische gegevens

5.1 Morfologie van het NDB

Door Van Dreumel (1995) is een sedimentbalans vastgesteld voor het 'Noordelijk Deltabekken' voor de periode 1982-1992. Door Snippen et al. (2005) is een vergelijkbaar onderzoek gedaan voor de periode 1990-2000. In de rapporten worden verschillende morfologische aspecten behandeld.

- Vastgestelde bodemveranderingen, bagger en stortwerk
- Zwevend stof transport
- Bodemtransport

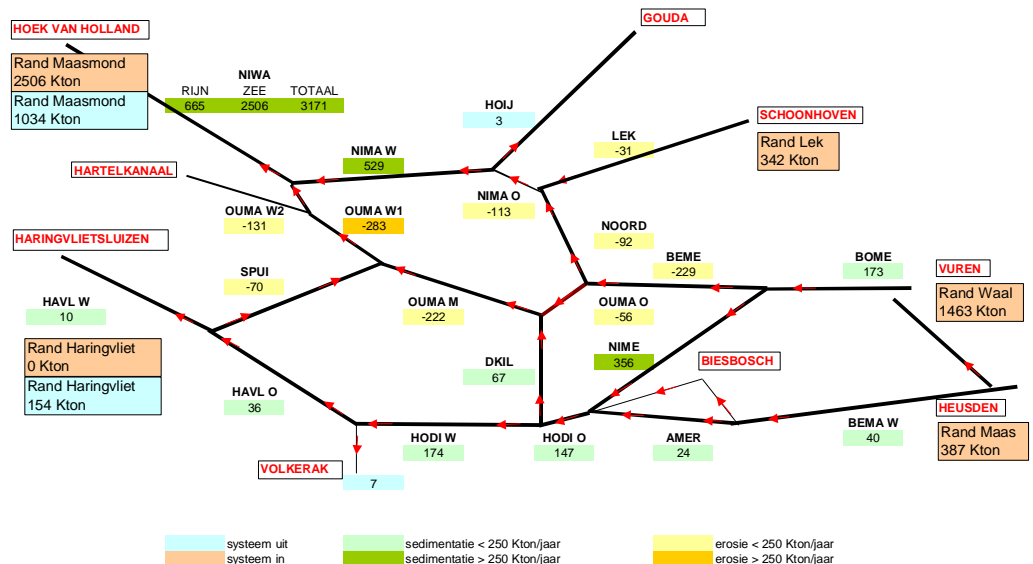
Morfologische ontwikkeling (1982-1992)

De totale sedimentatie in het NDB is door van Dreumel (1995) vastgesteld op een jaarlijks gemiddelde van 19,8 miljoen m³ sedimentatie en 0,55 miljoen m³ erosie. Dit komt neer op een sedimentatie van 9,5 miljoen ton/jaar, waarvan 3,5 miljoen ton zand en 6 miljoen ton slib. Om de waterwegen op diepte te houden, wordt in totaal 17,9 miljoen m³ gebaggerd, waarvan het overgrote deel aan de noordrand van het NDB wordt gebaggerd. Hier wordt een hoeveelheid van 16 miljoen m³ per jaar gebaggerd. In de andere deelgebieden wordt dus aanzienlijk minder gebaggerd dan op de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas.

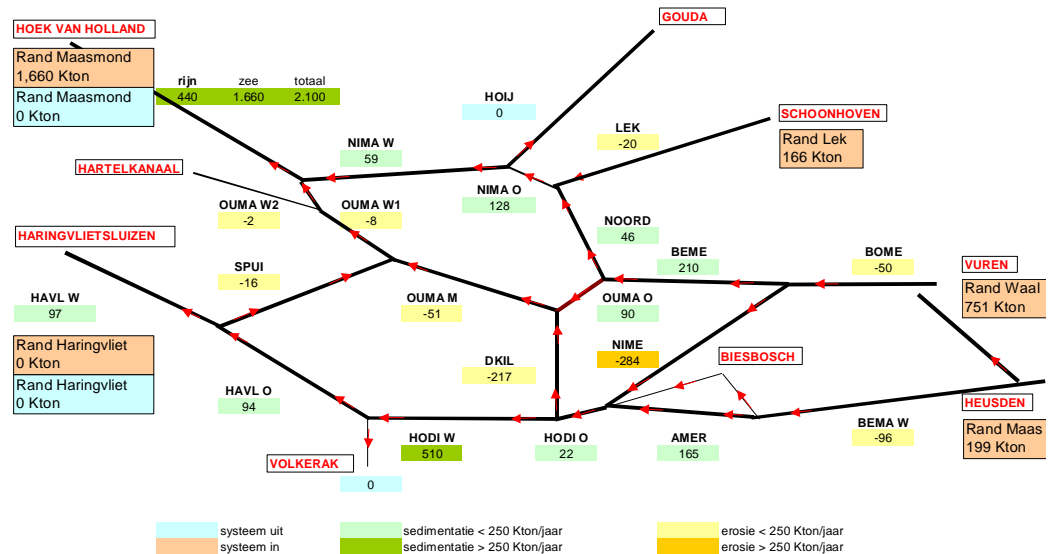
Morfologische ontwikkeling (1990-2000)

Binnenkort wordt een sedimentbalans voor de periode 1990-2000 gepresenteerd (Snippen et al., 2005). Figuur 5.1 en 5.2 geven de totale sedimentatie door slib en zand in het NDB weer. Het grootste deel van de sedimentatie vindt nog steeds plaats in de Nieuwe Waterweg.

Figuur 5.1: Overzicht sedimentatie en erosie van slib in de Rijn-Maasmonding (in kton/jaar), volgens Snippen et al. (2005).



Figuur 5.2: Overzicht sedimentatie en erosie van zand in de Rijn-Maasmonding (in kton/jaar), volgens Snippen et al. (2005).



Slib- en zandvrachten op de randen van het NDB

Van Dreumel (1995) heeft de jaarlijkse slib en zand toevoer op de randen van het noordelijk deltabekken bepaald over de periode 1982-1992.

Tabel 5.1: Gemiddelde jaarlijkse Slib en zand vracht op de randen van het NDB voor de periode 1982-1992.

Km-raai	Locatie	Jaargemiddeld sediment transport			
		Waal	Lek	Maas	Totaal
Slib	(106 ton/jaar)	2,40	0,55	0,45	3,40
Zand	(10 ⁶ ton/jaar)	1,05	0,30	0,20	1,55
Totaal	(10 ⁶ ton/jaar)	3,45	0,85	0,65	4,95

Snippen et al. (2005) hebben een jaarlijkse slib- en zandtoevoer op de randen vastgesteld die lager is dan de toevoer over de periode 1982-1992. De oorzaak hiervan wordt gezocht in de methode waarmee de sedimentbalans vastgesteld is én in structurele veranderingen van met name de bodemhoogtes.

Tabel 5.2: Gemiddelde jaarlijkse Slib en zandvracht op de randen van het NDB voor de periode 1990-2000.

Km-raai	Locatie	Jaargemiddeld sediment transport			
		Waal	Lek	Maas	Totaal
Slib	(106 ton/jaar)	1,46	0,34	0,39	2,19
Zand	(10 ⁶ ton/jaar)	0,75	0,17	0,20	1,12
Totaal	(10 ⁶ ton/jaar)	2,21	0,51	0,59	3,31

Zwevend stof beeld

Met behulp van de bodemveranderingen en baggerwerk is de sedimentatie en erosie gedurende de periode 1982-1992 bepaald. Na toevoeging van de gegevens aan de randen van het model, ontstaat een sluitende balans. Uit het rapport kan informatie ontleend worden over de slibvracht op de Nieuwe Merwede en Maas-Amer. Dit betreft echter jaargemiddelde transporten.

Tabel 5.3: Slibconcentraties / Zandconcentraties Rijn en Maas op verschillende locaties [mg/l], ontleend aan figuren Van Dreumel (1995).

Km-raai	Locatie	Q<3500m ³ /s		Q=800-6000m ³ /s		Q>3500m ³ /s	
		Zand	Slib	Zand	Slib	Zand	Slib
963	Werkendam	19	37	21	40	21	60
972	Kop van 't Land	17	39	17	41	20	65
248	Keizersveer	7	22	10	38	20	72
252	Spijkerboor	8	23	10	40	23	55
261	Mond Amer	1	21	5	25	6	40

Tabel 5.3 geeft een redelijke inzicht in de gemiddelde zand en slibconcentraties op de Rijn en Maas in het interesse gebied.

5.2 Toekomstverwachtingen morfologie NDB

Door Van Prooijen (2004) is de invloed van klimaatverandering op de morfologie van het Noordelijk deltabekken onderzocht. In het onderzoek wordt ingegaan op:

- Gebiedsbeschrijving;
- Klimaatveranderingen;
- Programma van eisen voor het overgangsgedebied.

Gebiedsbeschrijving

In de gebiedsbeschrijving wordt het Noordelijk deltabekken gedefinieerd en wordt ingegaan op het beheer en de functies van het NDB. Van Prooijen (2004) noemt hier veiligheid, toegankelijkheid, natuur, recreatie en zoetwater als de belangrijkste functies. Tevens wordt ingegaan op de fysische processen die betrekking hebben op de morfologie. Dit zijn achtereenvolgens de invloed van waterbeweging, zoutindringing en sediment transport, alsmede de invloed van morfologische verstoringen.

Klimaatveranderingen

In dit deel wordt zowel de zeespiegelstijging als de verandering in de aanvoer van water en sediment door de rivieren beschreven. Naast de gewone zeespiegelstijging wordt ook een relatieve stijging van 7 à 8cm per eeuw verwacht. Tevens wordt verwacht dat de getijslag rond 2100 met 10cm is toegenomen. Door Van Prooijen (2002) wordt verwezen naar de 'Leidraad zandige kust', waar drie scenario's voor de relatieve zeespiegelstijging uitgezet worden.

Tabel 5.4: Scenario's voor versnelde relatieve zeespiegelstijging (en stormopzet), volgens Van Prooijen (2004).

Scenario		2050	2100	2200
Laag	Zeespiegel stijging	0.10 m	0.20 m	0.40 m
	Stormopzet	-	-	-
Gemiddeld	Zeespiegel stijging	0.30 m	0.60 m	1.20 m
	Stormopzet	-	-	-
Maximum	Zeespiegel stijging	0.45 m	0.85 m	1.70 m
	Stormopzet	0.40 m	0.40 m	0.40 m

De gemiddelde rivierafvoeren zullen naar alle waarschijnlijkheid weinig veranderen. De variabiliteit neemt echter toe, aangezien zomerafvoeren lager en winterafvoeren hoger zullen zijn. Verwacht wordt tevens dat het zwevend transport licht zal afnemen (circa 13%) en het bodemtransport sterk toenemen.

Programma van Eisen voor het overgangsbied

Door Van Prooijen wordt aangegeven welke eisen gesteld worden aan een model. Zowel de doelstellingen van het model, als het gebied waarop het model van toepassing is, zijn hiervoor van belang. Voor de Zuidrand Oost (Hollandsch Diep, Nieuwe Merwede, Maas, Amer) volstaat een 1D model, maar wordt een 2 dimensionaal model aangeraden. Voor de Biesbosch wordt gesteld dat het modelleren zeer complex is en de calibratie binnen vegetatierijke gebieden veel aandacht vraagt.

5.3 Referentieprojecten

Gekeken is naar een aantal referentiesituaties. Van deze situaties is het project Dordtsche Biesbosch (zie 2.1.5) het meest relevant. Tevens wordt het referentieproject Gamerensche Waard meegenomen.

5.3.1. Dordtsche Biesbosch

Door De Gelder (2003) wordt geconstateerd dat in de Dordtsche Biesbosch onder normale omstandigheden piekstromsnelheden in de orde van 0,1-0,3m/s zullen optreden. Met behulp van een kombergingsbenadering wordt door hem een bovengrens van de sedimentatie verwacht van (gemiddeld) 10cm per jaar in de geulen en 1cm per jaar voor de hoger gelegen delen van het gebied. Dit is een conservatieve benadering, omdat uitgegaan wordt van volledige sedimentatie van toegevoerd sediment en de invloed van erosie niet wordt meegenomen.

Nagegaan is tevens of een opening tijdens dagelijkse condities gewenst is. Doormiddel van getij- en doorstroming zou de sedimentatie beperkt kunnen worden. Uit modelgegevens blijkt echter dat dit niet het geval is. Doordat de doorstroming van de hoofdgeul vrij groot is, wordt zelfs meer sediment aangevoerd dan in de situatie waarin er geen bovenstroomse dagelijkse opening zou zijn. Ter plaatse van de opening zal door de hoge stroomsnelheden de geul wel enigszins opengehouden worden, maar de geul als geheel zal waarschijnlijk sneller aanslibben dan in de situatie zonder bovenstroomse opening.

Door De Gelder (2003) wordt aangegeven dat de aanslibbing op de hogere delen waarschijnlijk niet te beperken is, aangezien vrijwel alleen de hoogteligging relevant is. Essentieel hierbij is of het gebied tijdens dagelijkse condities overstroomd.

Om de aanslibbingsnelheden te beperken, kan overwogen worden om:

- De geul minder breed en eventueel dieper te maken, zodat de snelheden in de geul hoger worden en minder aanslibbing optreedt.
- Ter plaatse van de bovenstroomse overlaat geen opening te maken, zodat minder slib wordt aangevoerd.
- Ook ter plaatse van de zuidelijke opening een overlaat aan te brengen, zodat helemaal geen slib meer wordt aangevoerd. (Van Gelder geeft echter aan dat dit waarschijnlijk niet past binnen de doelstellingen, omdat dan geen getijdoordringing optreedt).

5.3.2. Gamerensche Waard

Door Jans et al. (2004) worden de nevengeulen in de Gamerensche Waard geëvalueerd. Het betreft drie nevengeulen, die verschillen qua ligging (binnen en buiten zomderkade), lengte (0,5-2 km), diepte (0-20 meter) en afvoer (1-3% van Waal afvoer). Slechts één van de drie geulen stroomt permanent, de andere geulen respectievelijk 4 en 11 maanden per jaar. De monitoringperiode (1996-2001) werd gekenmerkt door relatief hoge rivierafvoeren, waardoor de geul frequenter stroomde dan in het ontwerp voorzien was.

.....
Figuur 5.3: Luchtfoto Gamerensche Waard (juni 2000).



Ter plaatse van vernauwingen kunnen stroomsnelheden van boven de 1m/s optreden. In het grootste deel van de geul variëren de stroomsnelheden echter tussen 0,1m/s en 0,5m/s, bij een afvoer van 2000m³/s (Waal).

Duidelijk is dat binnen de nevengeulen sedimentatie optreedt. De volgende morfologische conclusies komen naar voren uit de monitoring.

- In de diepere delen van de geulen vindt sedimentatie plaats, in de orde van 5-11cm/jaar.
- De morfologie van de nevengeul wordt voornamelijk bepaald door zand(transport). Slib(transport) speelt een beperkte rol.
- De instroomopeningen van de geulen zijn zeer erosiegevoelig, vooral als ze in de stroombanen liggen.
- De bedding van een nevengeul varieert met name in de jaren direct na aanleg sterk, zowel bodemhoogte als bodemtextuur en loop.

Binnen het zomerbed van de rivier vindt ook beperkte aanzanding plaats (± 10 cm per zes jaar). Deze bodemverhoging levert echter geen hinder op voor de scheepvaart. Het effect van vegetatie en aanzanding op de maatgevende hoogwaters over de periode 1995-2002 is vastgesteld op 0,5cm, dit is circa 15% ten opzichte van het initiële waterstandverlagende effect van 3cm (voor de nevengeulen van de Gamerensche Waard).

5.4 Waterbodemkwaliteit

De Biesbosch is al eeuwen een gebied waar sediment afgezet wordt. Vanaf het begin van de 20^e eeuw is het sediment echter vervuild met zware metalen en koolwaterstoffen. Om inzicht te geven in de (water)bodemkwaliteit in de uiterwaarden van de Nieuwe Merwede en in de Biesbosch zijn verschillende monitoring rapporten uitgebracht.

In deze rapporten wordt de kwaliteitsontwikkeling van de bodem getoetst aan het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR; voor de metalen) en aan de vier kwaliteitsklassen die zijn opgesteld voor 'omgaan met verontreinigd sediment' volgens NW4:

- Streefwaarde (SW; ondergrens klasse 1);
- Grenswaarde (GW; ondergrens klasse 2);
- Toetsingswaarde (TW; ondergrens klasse 3);
- Interventiewaarde (IW; ondergrens klasse 4).

5.4.1. Kievitswaard en Overdiepse Polder

Door Doomen (2003) is onderzocht hoe de bodemkwaliteit van de Overdiepse Polder en de uiterwaarden van de Kievitswaard zich ontwikkelen, indien deze regelmatig zouden overstromen. Daarbij is uitgegaan van een frequentie van 1/50 jaar voor zowel Overdiepse Polder als Kievitswaard. Voor de Kievitswaard is tevens gekeken naar de mogelijkheden om het gebied dagelijks of wekelijks te inunderen. Ten behoeve hiervan is door Doomen gebruik gemaakt van de door Bruggen et al. (1995) geschatte verontreinigingen in het zwevend stof van Rijn en Maas.

Tabel 5.5: Gehaltes en streefwaarden van verontreinigingen in het zwevend stof van de Rijn (gemiddelde gehalte 1993-2002) en voor de Maas, volgens Doomen (2003). Metalen en PAK in mg/kg, PCB, DDT en HCB in ug/kg.

	Rijn			Maas	
	1/50 jaar	1/jaar	Gemiddeld	1/50 jaar	Streefwaarde
Cd	1,01	1,1	1,4	7,8	0,8
Cu	48,9	37,8	59,3	94,5	36
Ni	32,7	34,0	40,0	49,6	35
Pb	68,9	55,0	79,2	186,0	85
Zn	251,9	230,5	366,4	923,7	140
Som 10PAK	6,7	1,50	3,5	32,6	1
Som 7PCB	99,8	53,6	69,6	167,6	20
Som DDT	14,4	7,6	13,2	26,7	10
Som HCB	17,1	15,2	21,1	9,3	0,05

Uit de analyses komt naar voren dat de uiterwaardbodem van de Kievitswaard sterk verontreinigd is (Klasse 4). Hier wordt opgemerkt dat sedimentatie van rivierslib de kwaliteit van de bovenste lagen zal verbeteren. Een positief scenario met een verbeterde zwevend stof kwaliteit (t.o.v. 2003) zou zelfs een toplaag van Klasse I kunnen creëren.

Voor de Overdiepse Polder geldt dat de bodemkwaliteit zeer goed is, namelijk klasse 0 op veel plaatsen. Dit in tegenstelling tot de waterkwaliteit van de Maas. Door Doomen wordt dan ook aangegeven dat de bodemkwaliteit na 10 overstromingen 1 à 2 klassen kan stijgen. Voor de Noordwaard geldt ook dat de huidige bodemkwaliteit goed is

in vergelijking met het riviersediment. Het Rijn sediment dat binnenstroomt is echter beter van kwaliteit dan het Maas sediment.

In tabel 5.6 worden de normen voor de verschillende kwaliteitsklassen en het maximaal toelaatbaar en ecologisch risico (MTR en ER) weergegeven, alsmede de initiële concentraties van de verontreinigingen in de twee polders. Tevens wordt de achtergrondconcentratie (AC) van zware metalen (uit Normen voor Waterbeheer, 2000) weergegeven.

Tabel 5.6: Huidige verontreinigingen in de uiterwaardbodems, normen en achtergrondconcentraties van verontreinigingen, volgens Doomen (2003). Metalen en PAK in mg/kg; PCB, DDT en HCB in ug/kg.

	Landbodem					Sediment			
	MTR	ER	AC	Kievitswaard	Overdiepe Polder	SW ¹	GW ²	TW ³	IW ⁴
Cd	1,6	12	0,8	6,4	0,8	0,8	2	7,5	12,0
Cu	40	190	36	146	20	36	36	90	190
Ni	38	210	35	55	22	35	35	45	210
Pb	140	290	85	303	65	85	530	530	530
Zn	160	720	140	1151	137	140	480	720	720
Som 10PAK	-	-		21.8	11	-	1	10	40
Som 7PCB	-	-	0	548.8	0	20	-	200	1000
Som DDT	-	-	0	280	0	-	-	40	4000
Som HCB	28	30000	0	140	0	0.05	4	20	-

¹ Ondergrens klasse 1

² Ondergrens klasse 2

³ Ondergrens klasse 3

⁴ Ondergrens klasse 4

5.4.2. Brabantsche Biesbosch

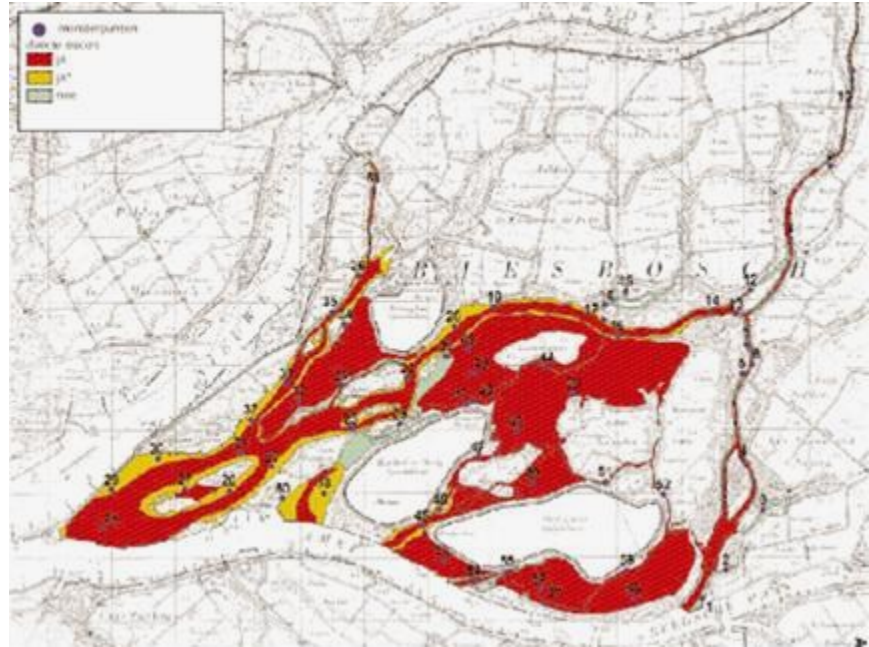
De waterbodemkwaliteit in de Brabantsche Biesbosch en het biotisch effect hiervan zijn door Keijzers et al. (2002) onderzocht. Op 61 meetpunten is de verontreinigingsgraad van de waterbodem bepaald. Hieruit komt naar voren dat de bodemkwaliteit op veel plaatsen erg slecht is (Klasse 3 en 4). Om de verschillende meetpunten te categoriseren is op de volgende criteria onderscheid gemaakt:

- Diepte;
- Zand of slib sediment;
- Gebruik van het water*.

* Scheepvaart /recreatievaart / Afgelegen of afgesloten kreek

De effecten van de bodemkwaliteit op de biotische omgeving blijken op een aantal plaatsen goed merkbaar, en zijn op andere plaatsen niet aangetoond maar wel waarschijnlijk. Met name in de ondiepere afgesloten kreek zijn de directe én de indirecte gevolgen groot. Ook voor het Spijkerboor geldt dat de bodemkwaliteit invloed heeft op de biotische omgeving (Houwing en Den Besten, 2003).

.....
Figuur 5.4: Vervuilde gebieden met risico's voor de directe omgeving (Oranje en rood: Klasse 3 en 4) (Houwing en Den Besten, 2002).



5.4.3. Sliedrechtse Biesbosch

In het deelrapport 'Abiotisch effectenonderzoek Sliedrechtse Biesbosch' (Snippen et al., 2002) wordt al geconstateerd dat de krekens in de Biesbosch sterk vervuild zijn (Klasse 3 en 4). In het rapport wordt als richtlijn gegeven dat bij stroomsnelheden groter dan 0,3m/s erosie van vervuild slib op kan treden. Deze snelheden worden op bepaalde momenten bereikt, waardoor er een risico bestaat op resuspensie van vervuild slib.

5.4.4. Uiterwaarden Rijntakken

Door Middelkoop et al. (2003) wordt de herverontreiniging van uiterwaarden onderzocht. Gekeken is naar uiterwaarden en nevengeulen. In het onderzoek wordt:

- De methode van waterkwaliteitsonderzoek besproken;
- De zwevend stof kwaliteit in de Rijn en Maas toegelicht;
- Sedimentatie van vervuild slib in uiterwaarden onderzocht.

6. Ecologie en ruimtelijke ontwikkeling

Er zijn verschillende studies uitgevoerd naar de inrichting van uiterwaarden en nevengeulen. De informatie die te vinden is in deze rapporten is te omvattend om uitputtend beschreven te worden, daarom is een inhoudelijk overzicht gemaakt van deze rapporten. Kenmerkend voor deze studies is dat er gekeken wordt naar functies, zoals beheer, ecologie en veiligheid.

6.1 Inrichting en beheer uiterwaarden

Door Wolters et al. (2001) wordt de inrichting van uiterwaarden in relatie tot de functies omschreven. Het rapport biedt richtlijnen voor het inrichten van uiterwaarden die ook voor de inrichting van de Noordwaard van belang zijn. De inhoud van het rapport wordt gekenmerkt door:

- Algemene informatie rivieren en riviertakken;
 - Slibgehalte/ waterdiepte/ breedte/ bodemverhang/ uiterwaarden.
- Factoren die van invloed zijn op de ecologie van een uiterwaard;
 - Fysisch: Peilfluctuaties/ erosie/ korrelgrootte (organisch stofgehalte sediment);
 - Chemisch: Nutriënten/chloridengehalte/vervuiling (Bicarbonaat gehalte);
 - Biotisch: Biomassa fytoplankton/ evertedaten (mossels)/ troebelheid.
- Beleidsvoornemens inrichting uiterwaarden.

Daarnaast wordt ingegaan op de inrichtingsaspecten van verschillende typen uiterwaarden. Voor elk van de typen worden inrichtingsrichtlijnen gegeven. Deze richtlijnen zijn deels overgenomen in het programma van eisen. De typen zijn:

- Stagnante wateren;
- Meestromende nevengeulen (bijv. Gamerensche Waard);
- Verlaagde uiterwaarden (bijv. Afferdensche en Deetsche Waarden);
- Verwijderen zomerkaden;
- Oeverwallen;
- Rivierduinen;
- Riet- en biezenmoeras;
- Beheer.
 - Begrazing van uiterwaarden;
 - Beperken overlast door muggen.

6.2 Ecologie en inrichting nevengeulen

Door Duel et al. (1993) is gekeken naar de specifieke hydraulische eisen voor de inrichting van nevengeulen. Met name de stroomsnelheden en de waterdiepte spelen een belangrijke rol in de

ecologie van nevengeulen. Een stroomsnelheid van rond de 0,5m/s en een diepte bij laagwater van 1 meter worden aangeraden. Tevens worden verschillende maatregelen genoemd die de ecologie van een nevengeul kunnen verbeteren. Deze zijn ook in het programma van eisen meegenomen.

In het rapport 'Geulen in uiterwaarden' (WL | Delft, 1990) zijn de hydraulische en morfologische processen die een rol spelen bij het ontwerp van een geulen beschreven. Het betreft een zeer breed scala van ontwerpformuleringen die in hoofdzaak gericht zijn op:

- Ontwerp (loop, profiel, inlaat, uitlaat, etc.);
- Morfologie;
- Hydraulica (Regiemvergelijkingen);
- Oever- en loopstabiliteit.

Literatuur

De gebruikte literatuur wordt weergegeven. De literatuur bestaat uit::

- Onderzoek
- Modelling
- Monitoring
- Inrichting
- Ruimte voor de Rivier

Onderzoeksrapporten

Akkerman, G.J., 1993. "Literatuur inventarisatie voor inlaten van nevengeulen", WL | Delft Hydraulics, Delft, maart 1993.

Ankum, P., en Brouwer, R., 1993. "Nevengeulen en sediment-verdeling", sectie Waterbeheer, vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU Delft, november 1993.

Bruggen, M. van, Stortelder, P.B.M., Van de Guchte, C., Van Hooft, W.F., 1995. "Hoogwater januari en februari 1995: Kwaliteit en risico's van het door Rijn en Maas aangevoerde rivierslib". RIVM. Rapport nr. 609021 006.

Duel, H., During, R., en Specken, B., 1993. "Nevengeulen, verkenning naar de ecologische betekenis van inrichtingsvarianten", INRO-TNO, Rapportnr. P/93/ECO/02, Delft, april 1993.

Keijzers, C.M., Postma, J.F., Den Besten, P.J., 2002. "Biotisch effectenonderzoek Brabantsche Biesbosch, nader onderzoek waterbodempkwaliteit", RIZA / Universiteit Utrecht, november 2002.

Klaassen, G. J., Stolker, C., Van Velzen, E. H., en Verheij, H., 1999. "Naar een ruweheidsvoorspeller voor moerasvegetatie op basis van riet en gras", WL | Delft Hydraulics en RWS/RIZA, RIZA-werkdocument 2000.166X.

Klopstra, D., Barneveld, H.J., en Noortwijk, J.M., 1996. "Analytisch model hydraulische ruweheid van overstromde moerasvegetatie". PR051, HKV lijn in water.

Doomen, A., 2003. "Kwaliteitsontwikkeling van een uiterwaardbodemp, na rivierverruimende maatregelen langs Rijn en Maas", RIZA / Universiteit Utrecht, Dordrecht, december 2003.

Dreumel, P.F. van, 1995. "Slib- en zandbeweging in het Noordelijk deltabekken in de periode 1982-1992", Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, afdeling watersysteemkennis, Rotterdam, december 1995

Fioole, A., 1999. Afvoerrelaties voor takken Rijn en Maas.

Fioole, A., Houwing, E.J., en Visser, A.Z., 2002. "Sedimentbalans 1960-2000 zwevend stofvracht Rijn en Maas", RIZA-werkdocument 2002.197X, Dordrecht, november 2002

Geerse, C.P.M., 2003. "Probabilistisch model hydraulische randvoorwaarden Benedenrivierengebied", RIZA-werkdocument 2003.128X, Lelystad, december 2003

Gelder, A. de, 2003. "Morfologische ontwikkeling bij rivierverruiming van polder de Biesbosch", Memo, Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, maart 2003

Havinga, F.J., Havinga, H., Visser, P.J., De Vriend, H.J, en Wang, Z.B., 2002. "Dictaat: Rivierwaterbouwkunde", sectie Waterbouwkunde, faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU Delft, mei 2002

Houwing, E.J., en Besten, P.J. den, 2003. "Biologische en chemische monitoring pilotsanering in Nieuwe Merwede en Spijkerboor", RIZA / RWS directie Zuid-Holland, maart 2003.

Jans, L.H., et al., 2002. "Monitoring nevengeulen, integrale jaarrapportage 2000/2001", RIZA-werkdocument 2002.083X, Lelystad, april 2002.

Jans, L.H., et al., 2004. "Evaluatie nevengeulen Gamerensche Waard 1996-2002", RIZA-rapport 2004-024, Lelystad, oktober 2004.

Jansen, P., Bendegom, L., Van den Berg, J., De Vries, M., en Zanan, A., 1979. "Principles of River Engineering, The non-tidal alluvial river", Delftse uitgevers maatschappij.

Krone, R.B., 1962. "Flume studies of the transport of sediments in estuarial shoaling processes", Final Report, Hydraulic Engineering Laboratory en Sanitation Engineering Research Laboratory, University of California, Berkely, California, US

Langemheen, W. van de, en Berger, H.E.J., 2001. "Hydraulische randvoorwaarden 2001: Maatgevende afvoeren Rijn en Maas", RIZA-rapport 2002.014, Arnhem, oktober 2001.

Linden, M. van der, Van Zetten, J.W., 2001. "Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken, bouw kalibratie en verificatie", RIZA-rapport 2002.002X, Dordrecht, november 2001.

Linden, T. van der, 2003. "Blokkeendoos PKB en de lange termijn taakstelling BER", Memo, Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, RvBe.MA-M-030004, Rotterdam, januari 2003.

Meijer, D.G., en Van Bommel, M.S., 2002. "SOBEK-berekeningen 'Eiland van Dordrecht'", Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, Rotterdam, september 2002.

Middelkoop, H., Van der perk, M., Thonon, I., 2003. "Herverontreiniging van uiterwaarden langs de Rijntakken met sedimentgebonden zware metalen", Departement Fysische Geografie, Universiteit Utrecht, maart 2003.

HR1996. "Hydraulisch randvoorwaardenboek primaire waterkeringen, 1996", Ministerie van Verkeer en Waterstaat, directoraat-generaal Rijkswaterstaat, 1996.

HR2002. "Hydraulisch randvoorwaardenboek primaire waterkeringen, 2001", Ministerie van Verkeer en Waterstaat, directoraat-generaal Rijkswaterstaat, december 2001.

Mol, A.C.S., 2003. "Morfologische gevolgen van rivierverruimende maatregelen langs de Merweden", Universiteit Twente, afstudeerrapport

Mol, A.C.S., 2004. "Morfologische effecten Ruimte voor de Rivier in het benedenrivierengebied", Universiteit Twente, 2004R-007/WEM-010

Ogink, H.J.M., 2002. "Quick scan zomerbed verdieping Merweden", WL|Delft Hydraulics, juli 2002.

Parmet, B.W.A.H., Van de Langemheen, W., Chbab, E.H., Kwadijk, J.C.J., Diermanse, F.L.M., Klopstra, D., 2001. "Analyse van de maatgevende afvoer van de Rijn te Lobith, onderzoek in het kader van het randvoorwaardenboek 2001", RIZA-rapport 2001-012, Arnhem, augustus 2001.

Prooijen, B.C. van, 2004. "Definitiestudie effecten van klimaatveranderingen in het overgangsgebied", Svasek Hydraulics, Ref. BvP/04540/1325, Rotterdam, december 2004.

Sloot, J.S., en Van den Berg, G.A., 2000. "Evaluatie instellingen regionaal model zuidrand noordelijk deltabekken", RIZA-werkdocument 99.103X, Dordrecht, december 2000.

Snippen, E., Fioole, A., Geelen, H., Kamsteeg, A., Van Spijk, A., en Visser, A.Z., 2005. "Sediment in beweging, Sedimentbalans Rijn-Maasmonding periode 1990-2000", Rijkswaterstaat, RIZA-rapport, Rotterdam, 11 mei 2005.

Snippen, E., Van der Heijdt, L.M., Van Zetten, J.W., 2002. "Abiotisch effectenonderzoek Sliedrechtse Biesbosch", Rijkswaterstaat, RIZA-rapport 2002.044, Dordrecht, november 2002.

Velzen, E.H. van, Jesse, P., Cornelissen, P., en Coops, H., 2002. "Stromingsweerstandvegetatie in uiterwaarden", RIZA-werkdocument 2002.141X, Arnhem, juni 2002.

Verbeek, H., Van Zetten, J.W., en Ludikhuizen, D., 1995. "Vergelijking tussen 1D en 2D slibtransportmodellen", Rijkswaterstaat, RIZA, RIZA-werkdocument 95.107X, Lelystad.

Visser, A.Z., en Snippen, E., 2002. "Een SOBEK-slibmodel van het Noordelijk Deltabekken, Fase I: Pilot toepassing model", RIZA-werkdocument 2002.142X, Dordrecht, september 2002.

Wijngaarden, M. van, 1998. "Sedimentatie en erosie van zwevend stof in nevengeulen", RIZA-rapport 97.078, Lelystad, januari 1998.

Wijngaarden, M. van, en Ludikhuizen, D., 1998. "MER Beheer Haringvlietsluizen, deelrapport Morfologie en kwaliteit binnengebied", RWS APV 98/094, december 1997.

WL | Delft Hydraulics, 1990. "Geulen en uiterwaarden", september 1990. (Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA)

WL | Delft Hydraulics, 2000. DELWAQ Processes Library, Technical Reference Manual, juni 2000.

WL | Delft Hydraulics, 2001. SOBEK River/Estuary User Manual, januari 2001.

Wolters, H.A., Platteeuw, M., en Schoor, M.M., 2001. "Richtlijnen voor inrichting en beheer uiterwaarden, ecologie en natuur gecombineerd", RIZA-rapport: 2001.059, december 2001.

Zetten, J.W. van, 2001. "Een SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken, de geometriebeschrijving", RIZA-werkdocument 2000.129X, Dordrecht, januari 2001.

Publicaties

Ackers, P., and White, W.R., 1973. "Sediment transport: new approach and analysis", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.99, No.HY11, pp. 2041-2060

Engelund, F., and Hansen, E., 1967. "A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams", Teknisk Forlag, Copenhagen, Denmark, pp. 1-62

Klaassen, G.J., en Van der Zwaard, J.J., 1974. "Roughness coefficients of vegetated floodplains", Journal of Hydraulic Research 12, pp 42-63

Meyer-Peter, E., en Müller, R., 1948. "Formulas for bed-load transport", Proc. IAHS Symp. 'Erosion and sediment transport measurements', IAHS Publ. No. 133

Partheniades, E., 1965. "Erosion and deposition of cohesive soils", ASCE, Journal of the Hydraulics Division, Vol.91, No.HY1, pp. 105-139

Rijn, L.C. van, 1982A. "Equivalent roughness of alluvial bed" ", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.108, No. HY10, pp. 1215-1218.

Rijn, L.C. van, 1982B. "The prediction of bedforms, alluvial roughness, and sediment transport", Delft Hydraulics Laboratory, S 484.

Rijn, L.C. van, 1984A. "Sediment transport, Part I: Bed Load transport", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.110, No. 10, pp. 1431-1456.

Rijn, L.C. van, 1984B. "Sediment transport, Part II: Suspended Load transport", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.110, No. 11, pp. 1613-1641.

Rijn, L.C. van, 1984C. "Sediment transport, Part III: Bed Forms and Alluvial Roughness", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.110, No. 12, pp. 1733-1754.

Simons, D.B., and Richardson, E.V., 1961. "Forms of bed-roughness in alluvial channels", Transactions of the ASCE, Vol. 87, No. HY3, pp. 87-106

Ruimte voor de Rivier

Bureau Benedenrivieren, 2004. "Benedenrivieren in samenhang, stand van zaken regionale voorkeuren Ruimte voor de Rivier", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, André Rijsdorp, Annabel Méndez Lorenzo en Oskar De Kuijer, namens Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, april 2004.

Bureau benedenrivieren, 2003. "Verkenning Noordwaard, denken over rivierverruiming", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, oktober 2003.

Ministerie van V&W en VROM, 1996. "Beleidslijn Ruimte voor de Rivier", Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996.

"Startnotitie M.E.R. in het kader van de PKB-procedure Ruimte voor de Rivier", ministeries van Verkeer en Waterstaat, van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, mei 2002.

"PKB Ruimte voor de Rivier, deel 1", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, mei 2005.

"Milieu Effect Rapportage in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier", Project organisatie Ruimte voor de Rivier, Bureau Benedenrivieren, Rotterdam, mei 2005.