



ALTEERRA

WAGENINGEN UR

# Veiligheid en beheer van natuurgebieden in 'Ruimte voor de Rivier'

B. Makaske  
G.J. Maas

Alterra-rapport 1624, ISSN 1566-7197



Veiligheid en beheer van natuurgebieden in 'Ruimte voor de Rivier'



# Veiligheid en beheer van natuurgebieden in 'Ruimte voor de Rivier'

B. Makaske  
G.J. Maas

Alterra-rapport 1624

Alterra, Wageningen, 2007

## REFERAAT

Makaske, B. & G.J. Maas, 2007. *Veiligheid en beheer van natuurgebieden in 'Ruimte voor de Rivier'*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1624. 39 p.; 5 fig.; 4 tab.; 11 ref.; 4 app.

Om de veiligheid tegen overstromingen in het rivierengebied te waarborgen is een goede doorstroomcapaciteit van het winterbed van belang. Maatregelen, zoals uiterwaardverlaging en het graven van een nevengeul, kunnen de doorstroomcapaciteit verbeteren. In deze studie is, middels een scenariostudie, de hydraulische effectiviteit van deze maatregelen op de lange termijn verkend bij verschillende natuurbeheersvormen, waarbij natuurlijke processen die de ontwikkeling van de doorstroomcapaciteit beïnvloeden, sedimentatie en vegetatiesuccessie, in de analyse zijn betrokken. Ook de ontwikkeling van natuurbeheerskosten op de lange termijn is doorgerekend. De resultaten laten zien met welke combinatie van maatregelen en beheer veiligheid en natuur op kosteneffectieve en duurzame wijze samen kunnen gaan in de bestudeerde (fictieve) situatie.

Trefwoorden: uiterwaarden, Ruimte voor de Rivier, rivierkunde, sedimentatie, vegetatiesuccessie, natuurbeheerskosten.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl). Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice)

© 2007 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Uitgangspunten en randvoorwaarden	13
2.1 Schematische doorsnede en ingrepen	13
2.2 Sedimentatiesnelheden	13
2.3 Vegetatiesuccessie en hydraulische ruwheden	14
2.4 Afvoerberekeningen	16
2.5 Normkosten voor beheer	16
3 Resultaten	19
3.1 Natuurlijk beheer	19
3.2 Halfnatuurlijk beheer	19
3.3 Intensief beheer	21
3.4 Kosten vegetatiebeheer	22
3.5 Cyclisch beheer van vegetatie en sediment	23
4 Conclusies	27
Literatuur	29
Bijlage 1 Ontwikkeling van de vegetatiestructuur in verschillende morfologische zones	31
Bijlage 2 Ontwikkeling van de vegetatiestructuur in door maat-regelen aangepaste morfologische zones	33
Bijlage 3 Stromingsweerstand van samengestelde vegetatie-structuren	35
Bijlage 4 Hydraulische gegevens per scenario	37



## Woord vooraf

Deze studie is verricht in opdracht van het ministerie van LNV in het kader van het BO-onderzoeksprogramma (cluster Vitaal Landelijk Gebied, thema Water). De studie is eind 2005 afgerond. Aanvankelijk waren de resultaten alleen beschikbaar in de vorm van een Powerpoint-presentatie en een beknopte beschrijving op de website [www.ruimtevoorderivier.wur.nl](http://www.ruimtevoorderivier.wur.nl). Een nieuw BO-project (Beheer van nieuwe natte (rivier)natuur in Ruimte voor de Rivier (RvR), cluster Vitaal Landelijk Gebied thema Water; lopend in 2007) waarin voortgebouwd is op de resultaten van deze studie, was de aanleiding om dit rapport te laten verschijnen.

Enkele mensen hebben in belangrijke mate bijgedragen aan de totstandkoming van deze studie: Almar Otten (destijds werkzaam bij LNV-Directie Regionale Zaken) die de studie initieerde en als opdrachtgever optrad, Bianca Nijhof (Alterra) die vegetatiesuccessieschema's opstelde, Peter Jesse (RIZA) die informatie verstreekte over vegetatieruwheid, en Douwe Joustra (Staatsbosbeheer regio Oost) die ons inzicht gaf in de kijk van de natuurbeheerder op de ontwikkeling van uiterwaardvegetaties en die ons ook de nodige beheersinformatie verstreekte. Deze personen worden hartelijk bedankt voor hun hulp.





## Samenvatting

Om de veiligheid tegen overstromingen in het rivierengebied te waarborgen is het van belang dat de doorstroomcapaciteit van het winterbed op peil blijft en lokaal vergroot wordt. De doorstroomcapaciteit van het winterbed wordt beïnvloed door twee natuurlijke ontwikkelingen in uiterwaarden: (1) sedimentatie zorgt voor een geleidelijke verkleining van het doorstroomoppervlak; (2) de ontwikkeling van vegetatie zorgt voor verandering van de hydraulische ruwheid. *Ruimte voor de Rivier* voorziet in een pakket van maatregelen dat gericht is op het realiseren van voldoende doorstroomcapaciteit in combinatie met natuurontwikkeling. Door het verlagen van uiterwaarden, of het graven van nevengeulen, wordt ruimte gecreëerd voor water maar ook voor natuur, die veelal bestaat uit hydraulisch ruwere vegetaties dan in de oorspronkelijke situatie.

Het hydraulische effect van fysieke ingrepen als uiterwaardverlaging en het graven van een nevengeul wordt geleidelijk weer teniet gedaan door sedimentatie en de ontwikkeling van ruwere vegetaties. In het project *Veiligheid en beheer van natuurgebieden in Ruimte voor de Rivier* is voor een schematische doorsnede door het winterbed met verschillende ecotopen berekend hoe de doorstroomcapaciteit zich ontwikkelt op een termijn van 100 jaar, uitgaande van kennisregels voor de snelheid van sedimentatie en vegetatiesuccessie per ecotoop. Er zijn drie maatregelscenario's uitgewerkt: (0) geen ingrepen; (1) het verlagen van een deel van de uiterwaard; (2) het aanleggen van een nevengeul. Voor ieder maatregelscenario zijn tevens drie vegetatiebeheersscenario's uitgewerkt: (0) geen beheer; (1) halfnatuurlijk beheer; (2) intensief beheer. De (cumulatieve) vegetatiebeheerskosten in de verschillende scenario's zijn ook berekend. Vervolgens is gekeken naar de mogelijkheden voor cyclisch beheer van vegetatie en sediment in de verschillende scenario's.

Deze studie leverde de volgende conclusies op:

- Vegetatieontwikkeling bij natuurlijk en halfnatuurlijk beheer kan op korte termijn (< 10 jaar) het effect van rivierverruimende maatregelen teniet doen.
- Beoogde natte-natuurdoelen (moeras), wanneer grootschalig en over lange trajecten gerealiseerd, laten zich moeilijk verenigen met veiligheidsseisen.
- Vegetatieontwikkeling (toename ruwheid) heeft op korte tijdschaal ( $\leq 30$  jaar) vele malen meer effect op de doorstroomcapaciteit dan sedimentatie (verlies doorstroomoppervlak).
- Op lange tijdschaal ( $> 30$  jaar) heeft sedimentatie belangrijke invloed op de herhalingstijd en benodigde intensiteit van periodieke lokale ingrepen in het kader van cyclisch beheer. Door geleidelijk verlies aan doorstroomoppervlak in de uiterwaard door sedimentatie zal steeds vaker, of steeds forser, ingegrepen moeten worden om de gewenste doorstroomcapaciteit te handhaven.
- Rivierverruimende maatregelen zijn het duurzaamst bij intensief natuurbeheer in de uiterwaard. Voor cyclisch beheer betekent dit dat door intensief natuurbeheer periodieke dure maatregelen (zoals het uitbaggeren van een nevengeul of het

opnieuw verlagen van een deel van de uiterwaard) minder frequent hoeven plaats te vinden.

- De vegetatiebeheerskosten van een uiterwaard zijn na aanleg van een nevengeul veel lager dan na uiterwaardverlaging (met ontwikkeling van natte natuur in de verlaagde uiterwaard). Ook de aanlegkosten van een nevengeul zijn veel lager dan die van een verlaagde uiterwaard met vergelijkbaar hydraulisch rendement. De aanleg van een nevengeul is dus in meerdere opzichten een kosteneffectieve maatregel.

Door de geïntegreerde lange-termijnanalyse van de hydraulische effecten van fysieke ingrepen, sedimentatie, vegetatiesuccessie en beheer, en het inzichtelijk maken van de ontwikkeling van beheerskosten, draagt deze studie bij aan de realisatie van een duurzaam en kosteneffectief uiterwaardbeheer.

# 1 Inleiding

Ruimte voor de Rivier richt zich zowel op veiligheid als op ruimtelijke kwaliteit. Om de veiligheid tegen overstromingen in het rivierengebied te waarborgen is het van belang dat de doorstroomcapaciteit van het winterbed op peil blijft en lokaal vergroot wordt. Ruimte voor de Rivier voorziet in een pakket van maatregelen dat gericht is op het realiseren van voldoende doorstroomcapaciteit. Veelal worden de veiligheidsmaatregelen gecombineerd met natuurontwikkeling, waardoor ook de tweede doelstelling van Ruimte voor de Rivier, het verbeteren van de ruimtelijke kwaliteit van het rivierengebied, aan bod komt. Door maatregelen, zoals het verlagen van uiterwaarden en het graven van nevengeulen, wordt ruimte gecreëerd voor water, maar ook voor natuur.

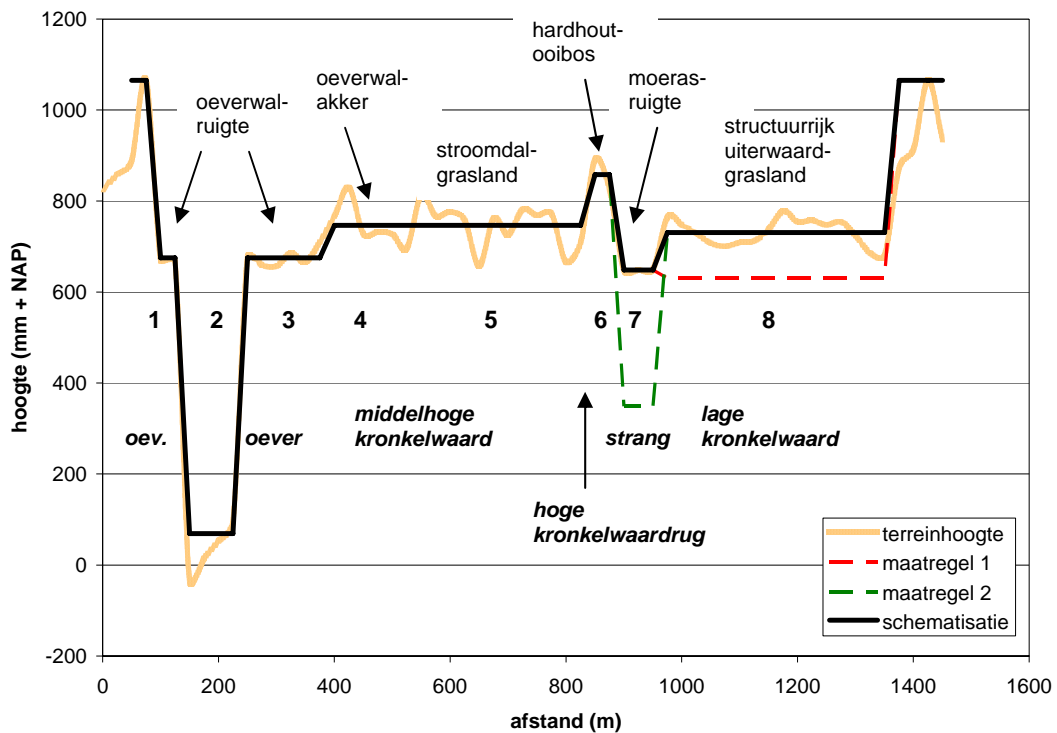
De natuurontwikkeling in uiterwaarden die samenhangt met de rivierverruimende maatregelen levert vaak na enige tijd een vegetatie op die hydraulisch ruwer is dan de oorspronkelijke vegetatie en derhalve de doorstroming meer belemmert. De doorstroomcapaciteit van het winterbed, die vergroot was door de fysieke maatregelen, wordt hierdoor weer kleiner. Tegelijkertijd, speelt in de uiterwaarden een ander natuurlijk proces dat de doorstroomcapaciteit beïnvloedt: sedimentatie. De afzetting van zand, zavel en klei op de uiterwaard zorgt, bij gelijkblijvend zomerbed, voor een geleidelijke afname van het doorstroomoppervlak (de natte doorsnede) van het winterbed.

Het hydraulische effect van fysieke ingrepen wordt dus geleidelijk weer teniet gedaan door sedimentatie en de ontwikkeling van ruwere vegetaties. Wanneer en hoe vaak in deze natuurlijke ontwikkelingen moet worden ingegrepen om de doorstroomcapaciteit weer te herstellen, wordt bepaald door de lokale snelheid van sedimentatie en vegetatiesuccessie. Een basisvoorwaarde voor het ontwikkelen van een duurzaam en kosteneffectief uiterwaardbeheer is ruimtelijk inzicht in vegetatie- en topografieveranderingen op de lange termijn.

De doelstelling van het project *Veiligheid en beheer van natuurgebieden in Ruimte voor de Rivier* was inzichtelijk te maken hoe de doorstroomcapaciteit van het winterbed na verschillende rivierverruimende maatregelen op lange termijn beïnvloed wordt door vegetatiesuccessie en sedimentatie, en wat het effect van de gekozen beheersvorm hierop is. Ook is een berekening gemaakt van de cumulatieve vegetatiebeheerskosten voor verschillende alternatieven. In het project is gewerkt met een schematische dwarsdoorsnede van het winterbed op een fictieve locatie in het rivierengebied. Deze dwarsdoorsnede is onderverdeeld in ecotopen waaraan een sedimentatiesnelheid en een vegetatiesuccessiepad gekoppeld zijn (Fig. 1). Voor tijdstappen zijn de ontwikkelingen van, respectievelijk, topografie en vegetatie in de dwarsdoorsnede bepaald voor verschillende uitgangssituaties (verschillende ingrepen) en als functie van verschillende vegetatiebeheersvormen. Voor alle dwarsdoorsneden (uitgangssituaties en na iedere tijdstap) is met hydraulische formules de doorstroomcapaciteit berekend. Op deze wijze kon het effect van verschillende

maatregelen en vegetatiebeheersvormen gekwantificeerd worden. De studie heeft zich gericht op de effecten tot 100 jaar na de ingrepen.

De in deze studie berekende doorstroomcapaciteit dient als een objectieve, kwantitatieve maat voor het succes van de verschillende alternatieven. Omdat slechts één dwarsdoorsnede beschouwd wordt en dus geen rekening gehouden wordt met ontwikkelingen stroomopwaarts en stroomafwaarts die de doorstroming in de doorsnede beïnvloeden, zal de werkelijke doorstroomcapaciteit in de dwarsdoorsnede afwijken van de berekende waarde. De berekende waarde geldt in feite alleen als ver stroomopwaarts en stroomafwaarts een uniforme situatie gelijk aan die in de doorsnede zou bestaan.



Figuur 1 De geschematiseerde dwarsdoorsnede van een fictieve uiterwaard met de bestudeerde maatregelen. Maatregel 1 is het graven van een nevengeul en maatregel 2 is het verlagen van een deel van de uiterwaard. Boven de doorsnede staan de ecotopen aangegeven, daaronder met nummers de uiterwaardzones genoemd in Bijlage 4 en de morfologische zones (oever, middelhoge kronkelwaard etc.) genoemd in Tabel 1 en Bijlagen 1 en 2.

## 2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

### 2.1 Schematische doorsnede en ingrepen

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een winterbeddoorsnede (Fig. 1) van een fictieve riviertak die ruwweg de dimensies en afvoercapaciteit van de IJssel heeft. De schematische doorsnede bestaat uit segmenten van 25 m lengte. Een morfologische zone bestaat uit één of meer segmenten en aangenomen is dat er geen hoogteverschillen binnen een zone bestaan. De hoogtesprongen tussen zones zijn abrupt.

De doorsnede is 1325 m lang (het deel tussen de dijken is 1275 m) en asymmetrisch, met het zomerbed uiterst links. De uiterwaard rechts van het zomerbed is ontstaan als kronkelwaard. Op de oevers aan weerszijden van het 6 m diepe en 100 m brede zomerbed, bevindt zich een ruigtevegetatie. De ruigtezone links van het zomerbed is 50 m breed en ligt aan de voet van een ca. 4 m hoge winterdijk. Rechts van het zomerbed is de ruigtezone 150 m breed. De oever is relatief laag en te beschouwen als een jonge aanwas in de binnenbocht van de geul. Op het oudere en hogere deel van de kronkelwaard verder van de rivier liggen een akker (50 m breed) en een stroomdalgrasland (400 m breed). Een smalle hoge kronkelwaardrug (50 m breed) is de locatie van een hardhoutoibos, die rechts wordt begrensd door een moerasruigte in een 75 m brede strang. Het overige deel van de uiterwaardvlakte wordt ingenomen door een structuurrijk uiterwaardgrasland (400 m breed). De dijk aan de rechterzijde van de doorsnede is ca. 3,5 m hoog.

Twee rivierverruimende ingrepen in deze dwarsdoorsnede zullen worden beschouwd als afzonderlijke scenario's: (1) het verlagen van het structuurrijke uiterwaardgrasland rechts in de doorsnede met één meter, (2) het uitdiepen van de strang met drie meter. Ook de ontwikkeling van de doorsnede zonder ingrepen zal worden beschouwd als een apart scenario (0).

### 2.2 Sedimentatiesnelheden

Per morfologische zone zijn gemiddelde sedimentatiesnelheden geschat om te kunnen voorspellen hoe de topografie in de doorsnede zich op de lange termijn ontwikkelt. De schattingen (Tabel 1) zijn gebaseerd op de volgende studies: Middelkoop (1997, tabel 4.1; 2000, tabel 6), Maas e.a. (2003) en Baptist (2005, tabel 3.3). Aangenomen wordt dat in het zomerbed geen sedimentatie of erosie plaatsvindt<sup>1</sup>. Binnen de uiterwaard neemt de sedimentatie af met toenemende hoogteligging door lagere overstromingsfrequentie.

---

<sup>1</sup> In werkelijkheid treedt bijna overal in de grote Nederlandse rivieren autonome bodemdaling (erosie) op van één tot enkele centimeters per jaar (Ten Brinke, 2004).

Tabel 1 Gemiddelde sedimentatiesnelheden per morfologische zone in Figuur 1.

Morfologische zones	Sedimentatiesnelheid (mm/jaar)
Oorspronkelijk	
• oever	5
• middelhoge kronkelwaard	3
• hoge kronkelwaardrug	1
• strang	10
• lage kronkelwaard	5
Na maatregelen	
• uitgediepte strang	40
• verlaagde lage kronkelwaard	7,5

### 2.3 Vegetatiesuccessie en hydraulische ruwheden

In Bijlage 1 is voor iedere morfologische zone in de doorsnede een successieschema gegeven die de vegetatiestructuurontwikkeling in 100 jaar beschrijft. In Bijlage 2 is de successie beschreven in morfologische zones waarin bepaalde ingrepen hebben plaatsgevonden. Uitgangspunt voor de gehanteerde ecotopenindeling is het RES (Rivier-Ecotopen-Stelsel) van Rademakers & Wolfert (1994). Voor het opstellen van de successieschema's is gebruik gemaakt van Knaapen & Rademakers (1990), Nijhof (2001) en Van Eupen e.a. (2003). Er zijn drie beheersvarianten onderscheiden die ieder hun eigen vegetatiesuccessiereeks kennen.

- *Natuurlijke beheer*. Volledig autonome ontwikkeling zonder enige vorm van antropogene sturing. De ontwikkeling wordt geheel bepaald door spontane natuurlijke processen.
- *Halfnatuurlijke beheer*. Geringe tot matige antropogene sturing van de processen. Sleutelfactoren van het systeem worden bijgestuurd om de risico's en onzekerheden van spontane ontwikkelingen te beperken. De bijsturing vindt meestal plaats door middel van natuurlijke jaarrondbegrazing.
- *Intensief beheer*. Intensieve tot zeer intensieve antropogene sturing gericht op het behoud van specifieke natuurwaarden. Dit komt meestal neer op het meerdere keren per jaar maaien van grasland en ruigten, en een natuurgericht bos- en struweelbeheer.

De stadia in de successie zijn in Bijlagen 1 en 2 weergegeven na periodes van 1, 5, 10, 30 en 100 jaar. In Tabel 2 zijn de vegetatiestructuren gegeven die een rol spelen in deze studie en die vervat zijn in de tabellen in de Bijlagen 1 en 2. Daarnaast worden in Tabel 2 de corresponderende vegetatiestructuurtypen gegeven, zoals gehanteerd in het handboek 'Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden' (Van Velzen e.a., 2003a). Op basis van de informatie in Van Velzen e.a. (2003a) zijn hydraulische

weerstanden (Chézy-waardes) gekoppeld aan de vegetatiestructuren in de Bijlagen 1 en 2.

De Chézy-waarde hangt, behalve van de ruwheid, ook af van de waterdiepte. In Van Velzen e.a. (2003a) zijn curves gegeven waarmee voor ieder vegetatiestructuurtype de Chézy-waarde behorend bij een bepaalde waterdiepte kan worden afgelezen<sup>2</sup>. De waterdiepte die in deze studie van toepassing is, is het verschil tussen de lokale terreinhoogte in de geschematiseerde doorsnede en het maatgevende-afvoerniveau<sup>3</sup> dat berekend kan worden voor de gekozen maatgevende afvoer. De lokale terreinhoogte verandert in de loop van de tijd door sedimentatie (Tabel 1) terwijl het maatgevende-afvoerniveau constant blijft.

Tabel 2 Vegetatiestructuren die een rol spelen in deze studie.

Code	Vegetatiestructuur (deze studie)	Vegetatiestructuur (Van Velzen e.a., 2003a)
1	open water zonder vegetatie	waterbodem – meestromende nevengeul
3	onbegroeid/pioniervegetatie	pioniervegetatie
4	ruigte	droge ruigte (oeverzone) natte ruigte (strang, verlaagde uiterwaard) rietruigte (verlaagde uiterwaard)
5	rietland	riet
6	agrarisch landgebruik (akker)	akker
10	extensief grasland	verruigd grasland
12	natuurgrasland (structuurrijk uiterwaardgrasland)	verruigd grasland
13	stroomdalgrasland	natuurlijk gras- en hooiland
15	doornstruweel	doornstruweel
16	zacht houtstruweel	zacht houtstruweel
18	zacht houtoibos	zacht houtoibos
19	hard houtoibos	hard houtoibos
20	open bosmozaïek (10-50% bos)	
21	dicht bosmozaïek (50-90% bos)	

In een aantal gevallen is er in de Bijlagen 1 en 2 sprake van het gecombineerd voorkomen van vegetatiestructuurtypen in een bepaald deel van de dwarsdoorsnede bij halfnatuurlijk beheer, bijvoorbeeld ruigte en doornstruweel. In dat geval is een samengestelde weerstand berekend (zie Bijlage 3).

Voor het zomerbed is een constante Chézy-waarde van  $60 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$  aangenomen voor alle scenario's en tijdstippen.

<sup>2</sup> Voor akker en waterbodem (meestromende nevengeul) is de Chézy-waarde (C) berekend op basis van de door Van Velzen e.a. (2003a) gegeven Nikuradse-ruwheidswaarde (k), met behulp van de formule  $C=18\log(12h/k)$ , waarin h de waterdiepte is.

<sup>3</sup> Dit is het waterniveau (9,02 m + NAP) dat berekend is voor de willekeurig gekozen maatgevende afvoer van  $2400 \text{ m}^3/\text{s}$  voor de doorsnede in de uitgangssituatie. Dit niveau ligt royaal beneden de kruinhoogte van de dijken.



## 2.4 Afvoerberekeningen

Voor alle maatregel- en beheersscenario's, en tijdstippen is de afvoer door de doorsnede berekend. Hiervoor is de volgende formule toegepast:

$$Q = C_1 B_1 h_1^{3/2} S_1^{1/2} + C_2 B_2 h_2^{3/2} S_2^{1/2} + C_3 B_3 h_3^{3/2} S_3^{1/2} + \dots$$

waarin:

Q	=	de totale afvoer door de doorsnede (m <sup>3</sup> /s);
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> ...	=	de Chézy-waarde voor zone 1, resp. zone 2, etc. (m <sup>0,5</sup> /s);
B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> ...	=	de breedte in de doorsnede van zone 1, resp. zone 2, etc. (m);
h <sub>1</sub> , h <sub>2</sub> ...	=	de waterdiepte in zone 1, resp. zone 2, etc. (m);
S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> ...	=	de energiegradiënt in zone 1, resp. zone 2, etc. (-).

De energiegradiënt is voor ieder geval gelijk verondersteld ( $S = 0,00010$ ;  $S^{1/2} = 0,00984$ ). In Bijlage 4 worden de invoerwaarden en de uitkomsten gegeven van alle hydraulische berekeningen.

## 2.5 Normkosten voor beheer

Om de beheerskosten van de verschillende scenario's (met verschillende beheersvarianten) te berekenen is gebruik gemaakt van de jarenlange praktijkervaringen van Staatsbosbeheer. In Tabel 3 zijn de beheerskosten geven die in onze studie van belang zijn. Bij volledig natuurlijk beheer geldt voor alle vegetatiestructuren alleen een administratief basistarief van 24 €/ha. Dit tarief dekt in feite de overheadkosten van de terreinbeherende organisatie. Ditzelfde tarief is voor de vegetatieloze 'vegetatiestructuren' *open water zonder vegetatie* en *onbegroeid/pioniervegetatie* ook aangehouden bij halfnatuurlijk en intensief beheer. Voor de overige vegetatiestructuren is bij halfnatuurlijk beheer met een tarief van 42 €/ha gerekend. Dit tarief geldt voor een extensief begrazingsbeheer van 'rivierboslandschap', een halfopen landschap dat bestaat uit open water, pioniervegetaties, natuurlijke graslanden, ruigten, struwelen en bossen. Er is vanuit gegaan dat de kosten van extensieve begrazing voor al deze vegetatiestructuren ongeveer even hoog zijn. In dit tarief zijn niet de vaak door Staatsbosbeheer gehanteerde kosten voor 'omvorming en herstel' meegenomen. Deze kosten gelden onder meer voor het periodiek verwijderen van ongewenste vegetatie om de bestaande vegetatiestructuur in stand te houden. Omdat dergelijke maatregelen in feite het halfnatuurlijke beheer 'opwaarderen' tot een intensief beheer, zijn deze kosten in de berekening voor halfnatuurlijk beheer niet meegenomen. In de in dit onderzoek beschouwde gevallen vinden dergelijke maatregelen als aanvulling op halfnatuurlijk beheer niet plaats.

De kosten van intensief beheer verschillen sterk per vegetatiestructuur (Tabel 3). Enkele vegetatiestructuren, zoals struwelen en bosmozaïeken, zijn typische producten van (half)natuurlijk beheer en ontstaan niet bij intensief beheer. Kosten voor intensief beheer zijn daarom niet van toepassing op deze vegetatiestructuren.

Voor de overige vegetatiestructuren (behalve 1 en 3) zijn de kosten voor ‘omvorming en herstel’ wel meegenomen. In Tabel 3 is te zien dat intensief beheer van de ‘natte’ vegetatiestructuren, *natte ruigte*, *rietruigte* en *rietland*, duur is in vergelijking met ‘droge’ vegetatiestructuren als *natuurgrasland* en *stroomdalgrasland*, die op hun beurt weer duurder in beheer zijn dan oobossen.

Tabel 3 Beheerskosten voor verschillende vegetatiestructuren en beheersscenario's.

Code	Vegetatiestructuur	Beheerskosten (€/ha)		
		natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
1	open water zonder vegetatie	24	24	24
3	onbegroeid/pioniervegetatie	24	24	24
4	ruigte			
	(a) droge ruigte (oeverzone)	24	42	90
	(b) natte ruigte (strang, verl. uiterwaard)	24	42	160
	(c) rietruigte (verlaagde uiterwaard)	24	42	224
5	rietland	24	42	271
6	agrarisch landgebruik (akker)	24	42	0
10	extensief grasland	24	42	90
12	natuurgrasland			
	(structuurrijk uiterwaardgrasland)	24	42	90
13	stroomdalgrasland	24	42	90
15	doornstruweel	24	42	n.v.t.
16	zachthoutstruweel	24	42	n.v.t.
18	zachthoutoobos	24	42	51
19	hardhoutoobos	24	42	51
20	open bosmozaïek (10-50% bos)	24	42	n.v.t.
21	dicht bosmozaïek (50-90% bos)	24	42	n.v.t.



## 3 Resultaten

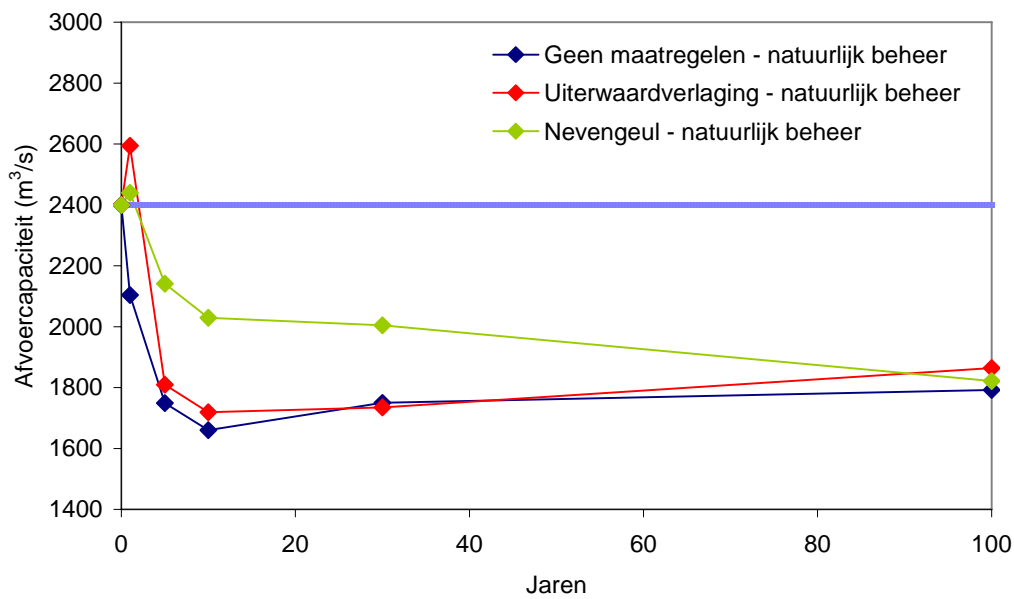
### 3.1 Natuurlijk beheer

In Figuur 2 is te zien dat bij natuurlijk beheer in alle scenario's een snelle afname van de afvoercapaciteit optreedt in de eerste tien jaar. De maatregelen, uiterwaardverlaging en het graven van een nevengeul, hebben maar een zeer kortdurend positief effect op de afvoercapaciteit: na ca. 2 jaar is de verbeterde doorstroming teniet gedaan. De snelle afname van de afvoercapaciteit wordt veroorzaakt door de snelle ontwikkeling van ruigtes en struwelen, die een grote hydraulische ruwheid hebben. Het negatieve effect hiervan op de doorstroomcapaciteit is zo groot dat de positieve effecten van de maatregelen spoedig overstemd worden.

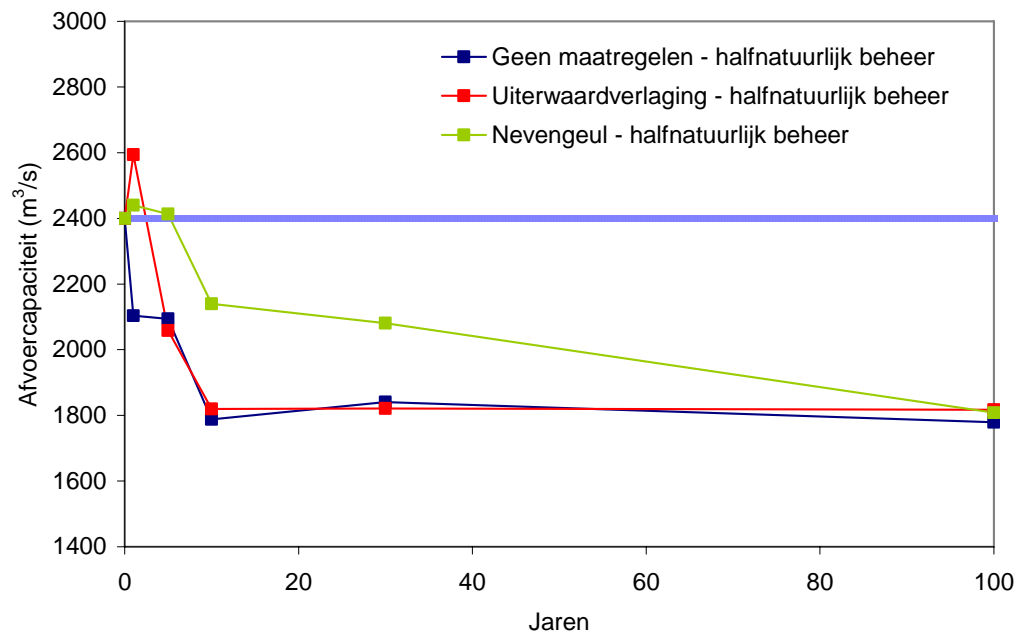
Er is wel een verschil te zien in de ontwikkeling van de afvoercapaciteit tussen de verschillende scenario's. Na aanleg van een nevengeul neemt de afvoercapaciteit minder ver af dan na uiterwaardverlaging of zonder ingrepen. Dit komt omdat in een diepe meestromende nevengeul geen vegetatieontwikkeling plaatsvindt, waardoor een redelijke mate van hydraulische effectiviteit gewaarborgd blijft. Op lange termijn (30-100 jaar) neemt de doorstroomcapaciteit van het winterbed met de nevengeul langzaam verder af. Dit komt doordat sedimentatie het doorstroomoppervlak van het winterbed verder verkleint. In de nevengeul vindt relatief snelle sedimentatie plaats. Het voordeel van de nevengeul ten opzichte van de andere scenario's neemt daardoor geleidelijk af. In de andere scenario's vindt op deze tijdschaal juist een lichte toename van de doorstroomcapaciteit plaats die toe te schrijven is aan de omvorming van struwelen tot oobossen die een lagere hydraulische ruwheid hebben. Omdat na 100 jaar de negatieve hydraulische effecten van de vegetatie afgenomen zijn, is uiterwaardverlaging op dat moment weer wat gunstiger voor de doorstroomcapaciteit dan geen maatregelen.

### 3.2 Halfnatuurlijk beheer

Het beeld van de ontwikkeling van de doorstroomcapaciteit bij halfnatuurlijk beheer (Fig. 3) is globaal vergelijkbaar met het beeld bij natuurlijk beheer (Fig. 2). Na 3 tot 5 jaar zijn de positieve hydraulische effecten van de maatregelen teniet gedaan. Omdat halfnatuurlijk beheer de natuurlijke vegetatiesuccessie remt blijft de afvoercapaciteit in de eerste 30 jaar hoger dan bij natuurlijk beheer. Terwijl, bijvoorbeeld, bij natuurlijk beheer na 5 jaar op veel plaatsen de hydraulisch ruwe struwelen tot ontwikkeling zijn gekomen, is bij halfnatuurlijk beheer dan veelal nog sprake van ruigte (Bijlage 1). Na 10 jaar beginnen ook bij halfnatuurlijk beheer ruigtes zich tot struwelen te ontwikkelen en neemt derhalve de doorstroomcapaciteit aanzienlijk af.



*Figuur. 2 De ontwikkeling van de afvoercapaciteit in de geschematiseerde doorsnede na verschillende maatregelen bij natuurlijk beheer. De horizontale blauwe lijn geeft de maatgevende afvoer weer. Onder deze lijn is de doorstroomcapaciteit onvoldoende.*



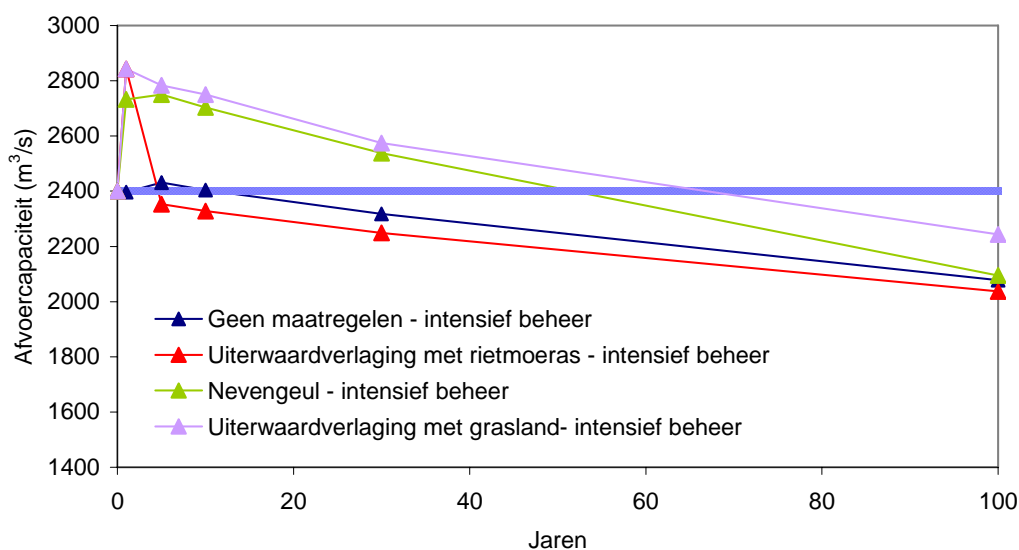
*Figuur. 3 De ontwikkeling van de afvoercapaciteit in de geschematiseerde doorsnede na verschillende maatregelen bij halfnatuurlijk beheer. De horizontale blauwe lijn geeft de maatgevende afvoer weer. Onder deze lijn is de doorstroomcapaciteit onvoldoende.*

Hoewel het halfnatuurlijke begrazingsbeheer struweel- en bosontwikkeling niet tot staan brengt, is het resultaat wel dat ook na 30 jaar de vegetatiestructuur opener is dan bij natuurlijke ontwikkeling. Vooral doordat de hydraulisch ruwe struwelen niet

gesloten zijn, is de afvoercapaciteit wat hoger. Na 100 jaar is de hydraulische situatie juist bij natuurlijk beheer wat gunstiger: de gesloten oobossen die dan ontstaan zijn, zijn minder ruw dan de bosmozaïeken die bij halfnatuurlijk beheer ontstaan en die pleksgewijs relatief ruwe ruigtes bevatten. Ook bij halfnatuurlijk beheer zorgt de voortgaande dichtslibbing van de nevengeul ervoor dat na 100 jaar de verschillende scenario's elkaar niet meer veel ontlopen voor wat betreft de afvoercapaciteit.

### 3.3 Intensief beheer

Voor wat betreft de te ontwikkelen natuur in een verlaagde uiterwaard kunnen bij intensief beheer natuurdoelen gekozen worden die nogal uiteenlopende consequenties hebben voor de hydraulische ruwheid en beheerskosten. Daarom zijn bij intensief beheer twee varianten van het uiterwaardverlagingsscenario onderscheiden: (1) ontwikkeling tot rietmoeras; (2) ontwikkeling tot natuurgrasland. Door hoge hydraulische ruwheid kan rietontwikkeling uiterwaardverlaging na 5 jaar al teniet doen als maatregel om extra afvoercapaciteit te creëren (Fig. 4). Wanneer de verlaagde uiterwaard echter wordt ontwikkeld als natuurgrasland blijft de ingreep meer dan 65 jaar hydraulisch effectief (Fig. 4). In alle maatregelscenario's zorgt intensief beheer voor een veel betere afvoercapaciteit dan natuurlijk en halfnatuurlijk beheer, omdat hydraulisch ruwe vegetaties zich nauwelijks ontwikkelen.



Figuur 4 De ontwikkeling van de afvoercapaciteit in de geschematiseerde doorsnede na verschillende maatregelen bij intensief beheer. De horizontale blauwe lijn geeft de maatgevende afvoer weer. Onder deze lijn is de doorstroomcapaciteit onvoldoende.

Doordat bij intensief beheer de oorspronkelijke ruigtes op de oevers omgevormd worden tot, hydraulisch minder ruwe, extensieve graslanden, is de afvoercapaciteit na vijf jaar in het maatregelloze scenario iets toegenomen. Daarna neemt de afvoercapaciteit geleidelijk af. Bij intensief beheer verandert de vegetatieruwheid weinig, en de afname van de afvoercapaciteit wordt dan ook voornamelijk

veroorzaakt door de verkleining van het doorstroomoppervlak door voortgaande sedimentatie in de uiterwaard.

De aanleg van een nevengeul in combinatie met het toepassen van intensief beheer is langdurig (meer dan 50 jaar) hydraulisch succesvol. Vooral doordat de sedimentatiesnelheden in de nevengeul relatief hoog zijn gaat op lange termijn het extra gecreëerde doorstroomoppervlak wat sneller verloren dan in het geval van uiterwaardverlaging.

### 3.4 Kosten vegetatiebeheer

Bij natuurlijk beheer zijn er geen verschillen in natuurbeheerskosten tussen de verschillende maatregelscenario's, omdat de beheerskosten per hectare voor alle vegetatiestructuren hetzelfde zijn (Tabel 3). Hierdoor blijven de beheerskosten van natuurlijk beheer ook door de tijd heen constant. Voor halfnatuurlijk beheer geldt (nagenoeg) hetzelfde, alhoewel dit duurder is dan natuurlijk beheer. De cumulatieve beheerskosten voor het bestudeerde transect na 100 jaar bedragen 2400 euro/ha bij natuurlijk beheer en 4100 à 4200 euro/ha bij halfnatuurlijk beheer<sup>4</sup>. Intensief beheer is duidelijk duurder: tussen 8000 en 14000 euro/ha na 100 jaar (Tabel 4).

Tabel 4 De ontwikkeling van de vegetatiebeheerskosten (euro/ha) in de tijd voor verschillende beheersvormen en maatregelen. De kosten zijn per tijdstip gegeven in hele euro's per jaar per hectare.

Beheersvorm:	Natuurlijk				Intensief			
	alle	0	1	2	0	1 <sub>riet</sub>	1 <sub>gras</sub>	2
na 1 jaar	24	42	36	41	89	67	67	80
na 5 jaar	24	42	42	41	89	151	113	80
na 10 jaar	24	42	42	41	89	151	113	80
na 30 jaar	24	42	42	41	85	146	85	80
na 100 jaar	24	42	42	41	85	130	85	80
Gem./j./ha	24	42	42	41	85	139	89	80
Cumul./ha	2400	4200	4182	4085	8540	13890	8878	8030

0 = geen maatregelen.

1 = uiterwaardverlaging.

2 = aanleg van een nevengeul.

1<sub>riet</sub> = uiterwaardverlaging met ontwikkeling van een rietvegetatie.

1<sub>gras</sub> = uiterwaardverlaging met ontwikkeling van een grasvegetatie.

Gem./j./ha = Gemiddelde kosten per jaar per hectare.

Cumul./ha = Cumulatieve kosten (over 100 jaar) per hectare.

De verschillen in de kosten van intensief beheer worden met name bepaald door hoeveelheid relatief dure natte vegetaties. Het scenario van een verlaagde uiterwaard met rietland valt het duurste uit, terwijl de overige scenario's elkaar niet veel ontlopen

<sup>4</sup> Uitgaande van het kostenniveau in 2005 en niet gecorrigeerd voor inflatie.

met beheerskosten van 8000 tot 9000 euro/ha. Door de jaren heen variëren de kosten van intensief beheer wat: door verlandingsprocessen in de strang en opslibbing van de verlaagde uiterwaard maken natte vegetaties die duur in onderhoud zijn plaats voor drogere vegetaties waarvan het beheer goedkoper is. Ook zijn er in het eerste jaar na uiterwaardverlaging nog weinig beheerskosten, omdat zich nog nauwelijks vegetatie ontwikkeld heeft. In Tabel 4 worden de beheerskosten voor de verschillende scenario's op een rijtje gezet.

### 3.5 Cyclisch beheer van vegetatie en sediment

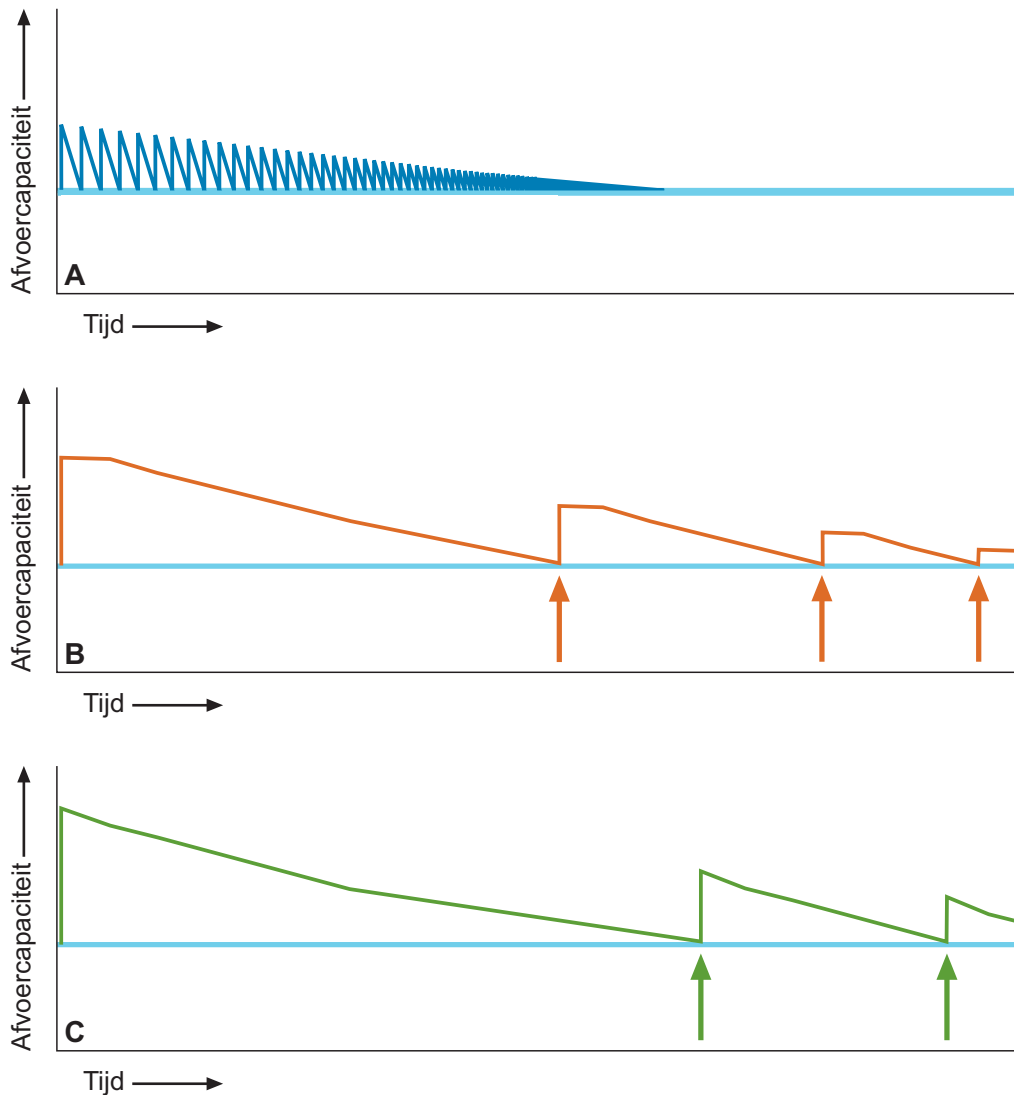
Uit de paragrafen 3.1 t/m 3.3 zal duidelijk zijn dat, ongeacht welke beheersvorm toegepast wordt, van tijd tot tijd maatregelen nodig zijn om de doorstroomcapaciteit op langere termijn op peil te houden. Een maatregel wordt noodzakelijk op het moment dat de afvoercapaciteit onder de norm (in de Figuren 2, 3 en 4 weergegeven door de horizontale blauwe lijn) komt. Het samenhangend pakket van doorlopend regulier natuurbeheer en periodieke maatregelen om de doorstroomcapaciteit te waarborgen en de negatieve effecten van successie en sedimentatie op te heffen, noemen we cyclisch beheer.

In Figuur 5a is te zien dat in het bestudeerde transect bij natuurlijk en halfnatuurlijk beheer al heel snel een maatregel nodig is om de doorstroomcapaciteit op peil te houden. Omdat op deze korte termijn het snelle verlies van doorstroomcapaciteit bijna volledig veroorzaakt wordt door vegetatieontwikkeling en nog nauwelijks door sedimentatie, is het verwijderen van vegetatie in delen van het transect de effectiefste maatregel. Het zeer frequent rigoreus verwijderen van vegetatie doet echter de effecten van (half-)natuurlijk beheer op natuurwaarden volledig teniet en daarom wordt dit niet als realistisch alternatief beschouwd. Bovendien is de maatregel op lange termijn niet meer afdoende, door voortgaande sedimentatie. Eigenlijk is in de hierboven beschouwde scenario's cyclisch beheer alleen haalbaar als onderdeel van een intensief-beheerspakket na aanleg van een nevengeul of een verlaagde uiterwaard met grasvegetatie. In deze scenario's vindt nauwelijks successie plaats en wordt het verlies aan afvoercapaciteit bijna geheel bepaald door sedimentatie, die vooral plaatsvindt in de nevengeul/verlaagde uiterwaard. Verwijdering van het afgezette sediment uit de nevengeul/verlaagde uiterwaard is een logische maatregel en Figuur 4 geeft aan dat dit na 52 jaar (nevengeul) of 66 jaar (uiterwaardverlaging-grasland) plaats zou moeten vinden om de doorstroomcapaciteit boven de norm te houden. Door ontwikkelingen elders in het transect (vooral sedimentatie) zal het uitbaggeren van de nevengeul of verlagen van de uiterwaard tot de oorspronkelijke diepte niet leiden tot een volledig herstel van de afvoercapaciteit<sup>5</sup>. In de Figuren 5b en c is dit schematisch weergegeven.

---

<sup>5</sup> Door autonome bodemdaling in het zomerbed (zie voetnoot 1) wordt verlies van doorstroomoppervlak in de uiterwaarden (deels) gecompenseerd, zodat de in Figuur 5 geschetste trend van steeds minder hydraulisch rendement van periodieke maatregelen afgezwakt/opgeheven wordt. Echter, Rijkswaterstaat heeft zich tot doel gesteld om de autonome bodemdaling in de toekomst tot staan te brengen.





*Figuur. 5 De ontwikkeling van de afvoercapaciteit in de tijd in het bestudeerde transect bij cyclisch bebeer. (A) Bij halfnatuurlijk en natuurlijk bebeer zijn door de snelle verruiging (=verruwing) zeer frequente ingrepen nodig om de afvoercapaciteit op peil te houden. De hier toegepaste ingrepen zijn het periodiek verwijderen van de vegetatie. Door voortgaande sedimentatie leidt het verwijderen van vegetatie op den duur niet meer tot voldoende herstel van de afvoercapaciteit. (B) Bij intensief bebeer is het aanleggen van een nevengeul een relatief duurzame maatregel. Het opnieuw uitbaggeren van de geul tot de oorspronkelijke diepte (rode pijl) leidt tot gedeeltelijk herstel van de afvoercapaciteit van de uiterwaard. Door voortgaande sedimentatie in de uiterwaard buiten de geul moet de maatregel steeds sneller herhaald worden. (C) Bij intensief bebeer is het verlagen van de uiterwaard (met daarna het handhaven van grasland) nog duurzamer dan het aanleggen van een nevengeul. Omdat uiterwaardverlaging enkele malen duurder is dan het aanleggen van een nevengeul is het laatste, ondanks de hogere benodigde herhalingsfrequentie, kostenefficiënter. Ook bij uiterwaardverlaging geldt dat door voortgaande sedimentatie in de rest van de uiterwaard het herbalen van de maatregel niet leidt tot volledig herstel van de afvoercapaciteit.*

Hoewel uiterwaardverlaging met ontwikkeling van grasland hydraulisch gezien een wat duurzamer maatregel is dan het graven van een nevengeul is het laatste vanuit het oogpunt van aanlegkosten gunstiger. Wij schatten de aanlegkosten van een nevengeul in het transect op ca. 250 k€, terwijl uiterwaardverlaging het driedubbele kost: ca. 750 k€<sup>6</sup>. Herstel van de oorspronkelijke capaciteit van de nevengeul of verlaagde uiterwaard na respectievelijk 52 of 66 jaar zal wat goedkoper uitvallen (inflatie niet meegerekend) omdat de nevengeul of verlaagde uiterwaard dan nog niet volledig is dichtgeslibd. De kosten van dergelijke fysieke ingrepen zijn hoog ten opzichte van de vegetatiebeheerskosten: de totale cumulatieve vegetatiebeheerskosten voor het transect bij intensief beheer zonder maatregelen zijn ca. 100 k€ in 100 jaar<sup>7</sup>. De kosten van cyclisch beheer worden dus sterk gedomineerd door de kosten van de periodieke fysieke ingrepen. Daaruit volgt dat het op de lange termijn per definitie kosteneffectief is wanneer een bepaalde vegetatiebeheersvorm bijdraagt aan het verminderen van het aantal benodigde fysieke ingrepen.

---

<sup>6</sup> Schattingen gebaseerd op praktijkervaringen in NURG-projecten en slechts bedoeld om de orde van grootte aan te geven. Het transect is in deze berekeningen opgevat als een 100 m brede strook.

<sup>7</sup> Het transect is in deze berekeningen opgevat als een 100 m brede strook.



## 4 Conclusies

Uit deze scenariostudie volgt een aantal belangrijke algemene conclusies die hieronder worden gegeven. Hoewel het een studie van een fictieve situatie met een vereenvoudigd hydraulisch model betreft, zijn de gevonden verschillen tussen de verschillende scenario's zo groot dat de gesignaleerde effecten naar verwachting ook relevant zijn voor reële situaties.

- Vegetatieontwikkeling bij natuurlijk en halfnatuurlijk beheer kan op korte termijn (< 10 jaar) het effect van rivierverruimende maatregelen teniet doen.
- Beoogde natte-natuurdoelen (moeras), wanneer grootschalig en over lange trajecten gerealiseerd, laten zich moeilijk verenigen met veiligheidseisen.
- Vegetatieontwikkeling (toename ruwheid) heeft op korte tijdschaal ( $\leq 30$  jaar) vele malen meer effect op de doorstroomcapaciteit dan sedimentatie (verlies doorstroomoppervlak).
- Op lange tijdschaal ( $> 30$  jaar) heeft sedimentatie belangrijke invloed op de herhalingsstijd en benodigde intensiteit van periodieke lokale ingrepen in het kader van cyclisch beheer. Door geleidelijk verlies aan doorstroomoppervlak in de uiterwaard door sedimentatie zal steeds vaker, of steeds forser, ingegrepen moeten worden om de gewenste doorstroomcapaciteit te handhaven.
- Rivierverruimende maatregelen zijn het duurzaamst bij intensief natuurbeheer in de uiterwaard. Voor cyclisch beheer betekent dit dat door intensief natuurbeheer periodieke dure maatregelen (zoals het uitbaggeren van een nevengeul of het opnieuw verlagen van een deel van de uiterwaard) minder frequent hoeven plaats te vinden.
- De vegetatiebeheerskosten van een uiterwaard zijn na aanleg van een nevengeul veel lager dan na uiterwaardverlaging (met ontwikkeling van natte natuur in de verlaagde uiterwaard). Ook de aanlegkosten van een nevengeul zijn veel lager dan die van een verlaagde uiterwaard met vergelijkbaar hydraulisch rendement. De aanleg van een nevengeul is dus in meerdere opzichten een kosteneffectieve maatregel.



## Literatuur

- Baptist, M.J. (2005) Modelling floodplain biogeomorphology. Proefschrift Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, TU Delft, 195 p.
- Brinke, W. ten (2004) De beteugelde rivier. Natuurwetenschap & Techniek, Veen Magazines, Amsterdam, 228 p.
- Eupen, M. van, G.J. Maas, G.H. Stoffelsen & H.P. Wolfert (2003) Effecten van uiterwaardverlaging op landbouw en natuur langs de Maas. Alterra-rapport 881, Alterra, Wageningen, 91 p.
- Knaapen, J.P. & J.G.M. Rademakers (1990) Rivierdynamiek en vegetatieontwikkeling. Rapport 82, Staring Centrum, Wageningen, 84 p.
- Maas, G.J., B. Makaske, P.W.F.M. Hommel, B.S.J. Nijhof & H.P. Wolfert (2003) Verstoring en successie; rivierdynamiek en stroomdalvegetaties in de uiterwaarden van de Rijntakken. Alterra-rapport 759, Alterra, Wageningen, 100 p.
- Middelkoop, H. (1997) Embanked floodplains in the Netherlands; geomorphological evolution over various time scales. Nederlandse Geografische Studies 224, 341 p.
- Middelkoop, H. (2000) Heavy-metal pollution of the Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands. Geologie en Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences 79, pp. 411-428.
- Nijhof, B.S.J. (2001) Vegetation succession in floodplain flats; inventarisatie en modellering of measured data and expert judgement. Alterra-report 529, Alterra, Wageningen, 52 p.
- Rademakers, J.G.M. & H.P. Wolfert (1994) Het rivier-ecotopen-stelsel: een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijkse rivierengebied. Publikaties en rapporten van het project 'Ecologisch herstel Rijn en Maas' 61, RIZA, Lelystad, 77 p.
- Velzen, E.H. van, P. Jesse, P. Cornelissen & H. Coops (2003a) Stromingsweerstand in uiterwaarden; deel 1 handboek versie 1-2003. RIZA rapport 2003.028. RIZA, Arnhem, 134 p.
- Velzen, E.H. van, P. Jesse, P. Cornelissen & H. Coops (2003b) Stromingsweerstand in uiterwaarden; deel 2 achtergronddocument versie 1-2003. RIZA rapport 2003.029. RIZA, Arnhem, 124 p.



## Bijlage 1 Ontwikkeling van de vegetatiestructuur in verschillende morfologische zones

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op oever (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	ruigte	ruigte	ruigte
na 5 jaar	zachthoutstruweel	ruigte	extensief grasland
na 10 jaar	zachthoutstruweel	ruigte/zachthoutstruweel	extensief grasland
na 30 jaar	zachthoutoobos	open bosmozaïek	extensief grasland
na 100 jaar	zachthoutoobos	dicht bosmozaïek	extensief grasland

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op middelhoge kronkelwaard (akkerdeel) (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	ruigte	ruigte	akker
na 5 jaar	doornstruweel	ruigte	akker
na 10 jaar	doornstruweel	ruigte/doornstruweel	akker
na 30 jaar	doornstruweel	ruigte/doornstruweel	akker
na 100 jaar	hardhoutoobos	open bosmozaïek	akker

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op middelhoge kronkelwaard (stroomdalgraslanddeel) (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	ruigte	ruigte	stroomdalgrasland
na 5 jaar	ruigte	ruigte	stroomdalgrasland
na 10 jaar	doornstruweel	ruigte/doornstruweel	stroomdalgrasland
na 30 jaar	doornstruweel	ruigte/doornstruweel	stroomdalgrasland
na 100 jaar	hardhoutoobos	open bosmozaïek	stroomdalgrasland

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op hoge kronkelwaardrug (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	hardhoutoobos	hardhoutoobos	hardhoutoobos
na 5 jaar	hardhoutoobos	hardhoutoobos	hardhoutoobos
na 10 jaar	hardhoutoobos	hardhoutoobos	hardhoutoobos
na 30 jaar	hardhoutoobos	hardhoutoobos	hardhoutoobos
na 100 jaar	hardhoutoobos	hardhoutoobos	hardhoutoobos



*Ontwikkeling vegetatiestructuur in strang (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	(natte) ruigte	(natte) ruigte	(natte) ruigte
na 5 jaar	zachthoutstruweel	(natte) ruigte	(natte) ruigte
na 10 jaar	zachthoutstruweel	(natte) ruigte/zachthoutstr.	(natte) ruigte
na 30 jaar	zachthoutoobos	open bosmozaïek	extensief grasland
na 100 jaar	zachthoutoobos	dicht bosmozaïek	extensief grasland

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op lage kronkelwaard (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	ruigte	ruigte	natuurgrasland
na 5 jaar	zachthoutstruweel	ruigte	natuurgrasland
na 10 jaar	zachthoutstruweel	ruigte/zachthoutstruweel	natuurgrasland
na 30 jaar	zachthoutoobos	open bosmozaïek	natuurgrasland
na 100 jaar	zachthoutoobos	dicht bosmozaïek	natuurgrasland

## Bijlage 2 Ontwikkeling van de vegetatiestructuur in door maatregelen aangepaste morfologische zones

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op verlaagde lage kronkelwaard (rietvegetatie) (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	onbegroeid / pioniervegetatie	onbegroeid / pioniervegetatie	onbegroeid / pioniervegetatie
na 5 jaar	rietland	rietland	rietland
na 10 jaar	(riet)ruigte	(riet)ruigte	rietland
na 30 jaar	zachthoutstruweel	zachthoutstruweel / (riet)ruigte	rietland
na 100 jaar	zachthoutoibos	dicht bosmozaïek	(riet)ruigte

*Ontwikkeling vegetatiestructuur op verlaagde lage kronkelwaard (grasvegetatie) (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	onbegroeid / pioniervegetatie	onbegroeid / pioniervegetatie	onbegroeid / pioniervegetatie
na 5 jaar	rietland	rietland	(natte) ruigte
na 10 jaar	(riet)ruigte	(riet)ruigte	(natte) ruigte
na 30 jaar	zachthoutstruweel	zachthoutstruweel / (riet)ruigte	natuurgrasland
na 100 jaar	zachthoutoibos	dicht bosmozaïek	natuurgrasland

*Ontwikkeling vegetatiestructuur in uitgediepte strang (Fig. 1).*

tijdstip	natuurlijk beheer	halfnatuurlijk beheer	intensief beheer
na 1 jaar	open water	open water	open water
na 5 jaar	open water	open water	open water
na 10 jaar	open water	open water	open water
na 30 jaar	open water	open water	open water
na 100 jaar	open water	open water	open water



### Bijlage 3 Stromingsweerstand van samengestelde vegetatiestructuren

In een aantal gevallen is er in de Bijlagen 1 en 2 sprake van het gecombineerd voorkomen van vegetatiestructuurtypen in een bepaald deel van de dwarsdoorsnede bij halfnatuurlijk beheer, bijvoorbeeld ruigte en doornstruweel. Daarnaast is ook de hydraulische weerstand van de vegetatiestructuren open bosmozaïek en dicht bosmozaïek samengesteld uit de weerstand van hardhout- of zachthoutoobos (afhankelijk van ontwikkeling vanuit doornstruweel of zachthoutstruweel) en de weerstand van droge ruigte<sup>8</sup>. De aangenomen verhoudingen tussen de samenstellende delen zijn: 50 % oobos en 50 % droge ruigte voor een open bosmozaïek, en 75 % oobos en 25 % droge ruigte voor een dicht bosmozaïek.

De hydraulische weerstand van een samengestelde vegetatiestructuureenheid is berekend met de volgende formules (Van Velzen e.a., 2003b, pp. 27-29):

$$C_a = 1/\sqrt{[i_1/(C_1^2) + i_2/(C_2^2)]} \quad (1)$$

$$C_b = i_1 C_1 + i_2 C_2 \quad (2)$$

$$C_{ab} = 0,6C_a + 0,4C_b \quad (3)$$

waarin:

$C_a$  = Chézy-waarde bij seriepatroon ( $m^{0,5}/s$ );

$C_b$  = Chézy-waarde bij parallel patroon ( $m^{0,5}/s$ );

$C_{ab}$  = representatieve Chézy-waarde bij combinatie van verschillende vegetatiestructuurtypen ( $m^{0,5}/s$ );

$C_1$  = Chézy-waarde voor vegetatiestructuurtype 1;

$C_2$  = Chézy-waarde voor vegetatiestructuurtype 2;

$i_1$  = oppervlaktaandeel vegetatiestructuurtype 1;

$i_2$  = oppervlaktaandeel vegetatiestructuurtype 2.

Voor de weerstand maakt het uit hoe de verschillende vegetatiestructuureenheden ruimtelijk ten opzichte van elkaar gerangschikt zijn: in serie achter elkaar (stroken dwars op de stromingsrichting), of parallel aan elkaar (stroken met de stromingsrichting mee). Voor beide situaties is een Chézy-waarde te berekenen met de formules 1 en 2. In de praktijk (ook in de beschouwde scenario's is daar van uitgegaan) is er meestal sprake van geen van beide en is er een soort willekeurig patroon. Met formule 3 is hiervoor een representatieve Chézy-waarde te berekenen.

---

<sup>8</sup> In strang is natte ruigte aangenomen en pas na 100 jaar wordt droge ruigte verondersteld. In scenario 1<sub>riet</sub> (uiterwaardverlaging met ontwikkeling van een rietland) is uitgegaan van rietruigte als onderdeel van de samengestelde vegetatiestructuren in de verlaagde uiterwaard na 30 en 100 jaar.

*Berekende samengestelde weerstanden onder halfnatuurlijk beheer (ontwikkeling zonder ingrepen na 10 jaar).*

Morfologische zone (Fig. 1)	C (vegetaties afzonderlijk)	C (samengesteld)
Oever	7 (50%), 21 (50%)	11,2
Middelhoge kronkelwaard	7 (50%), 17 (50%)	10,3
Strang	6 (50%), 31 (50%)	12,4

*Berekende samengestelde weerstanden onder halfnatuurlijk beheer (ontwikkeling zonder ingrepen na 30 jaar).*

Morfologische zone (Fig. 1)	C (vegetaties afzonderlijk)	C (samengesteld)
Oever	13 (50%), 20 (50%)	15,8
Middelhoge kronkelwaard	7 (50%), 16 (50%)	10,1
Strang	13 (50%), 30 (50%)	18,7

*Berekende samengestelde weerstanden onder halfnatuurlijk beheer (ontwikkeling zonder ingrepen na 100 jaar).*

Morfologische zone (Fig. 1)	C (vegetaties afzonderlijk)	C (samengesteld)
Oever	14 (75%), 18 (25%)	14,8
Middelhoge kronkelwaard	14 (50%), 17 (50%)	15,4
Strang	14 (25%), 15 (75%)	14,7

*Berekende samengestelde weerstanden van een verlaagde uiterwaard (Fig. 1) onder halfnatuurlijk beheer.*

Scenario	C (vegetaties afzonderlijk)	C (samengesteld)
Ingreep 1 riet/gras (na 30 jaar)	6 (50%), 7 (50%)	6,4
Ingreep 1 riet/gras (na 100 jaar)	7 (25%), 14 (75%)	10,6
Geen ingrepen (na 10 jaar)	7 (50%), 17 (50%)	10,3
Geen ingrepen (na 30 jaar)	14 (50%), 17 (50%)	15,4
Geen ingrepen (na 100 jaar)	14 (25%), 15 (75%)	14,7

## Bijlage 4 Hydraulische gegevens per scenario

Hydraulische gegevens voor scenario 0 (geen maatregelen).

Zone (Fig. 1)	Breedte (m)	Waterdiepte (m)						Chézy-waarde (m <sup>0,5</sup> /s)															
		T=0	na 1 j.	na 5 j.	na 10 j.	na 30 j.	na 100 j.	T=0	na 1 jaar			na 5 jaar			na 10 jaar			na 30 jaar			na 100 jaar		
									Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.
1	50	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
2	100	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	150	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
4	50	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	35	17	17	35	7	17	35	7	10,3	35	7	10,1	35	17	15,4	34
5	400	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	28	17	17	28	17	17	29	7	10,3	28	7	10,1	28	17	15,4	27
6	50	0,438	0,437	0,433	0,428	0,408	0,338	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
7	75	2,534	2,524	2,484	2,434	2,234	1,534	31	31	31	31	6	31	31	6	12,4	31	13	18,7	27	14	14,7	23
8	400	1,714	1,709	1,689	1,664	1,564	1,214	23	18	18	23	7	18	23	7	10,3	23	14	15,4	23	15	14,7	20
totaal	1275																						
							Afvoer (m <sup>3</sup> /s):	2400	<u>2104</u>	<i>2104</i>	<b>2396</b>	<u>1749</u>	<i>2094</i>	<b>2431</b>	<u>1660</u>	<i>1788</i>	<b>2404</b>	<u>1750</u>	<i>1841</i>	<b>2318</b>	<u>1792</u>	<i>1779</i>	<b>2078</b>

Hydraulische gegevens voor scenario 1<sub>riet</sub> (verlaagde uiterwaard met rietvegetatie bij intensief beheer).

Zone (Fig. 1)	Breedte (m)	Waterdiepte (m)						Chézy-waarde (m <sup>0,5</sup> /s)															
		T=0	na 1 j.	na 5 j.	na 10 j.	na 30 j.	na 100 j.	T=0	na 1 jaar			na 5 jaar			na 10 jaar			na 30 jaar			na 100 jaar		
									Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.
1	50	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
2	100	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	150	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
4	50	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	35	17	17	35	7	17	35	7	10,3	35	7	10,1	35	17	15,4	34
5	400	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	28	17	17	28	17	17	29	7	10,3	28	7	10,1	28	17	15,4	27
6	50	0,438	0,437	0,433	0,428	0,408	0,338	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
7	75	2,534	2,524	2,484	2,434	2,234	1,534	31	31	31	31	6	31	31	6	12,4	31	13	18,7	27	14	14,7	23
8	400	1,714	2,706	2,676	2,639	2,489	1,964	23	37	37	37	7	7	7	7	7	7	6	6,4	7	14	10,6	6
totaal	1275																						
							Afvoer (m <sup>3</sup> /s):	2400	<u>2594</u>	<i>2594</i>	<b>2843</b>	<u>1809</u>	<i>2059</i>	<b>2353</b>	<u>1719</u>	<i>1819</i>	<b>2328</b>	<u>1735</u>	<i>1821</i>	<b>2249</b>	<u>1864</u>	<i>1817</i>	<b>2037</b>



Hydraulische gegevens voor scenario 1<sub>gras</sub> (verlaagde uiterwaard met grasvegetatie bij intensief beheer).

Zone (Fig. 1)	Breedte (m)	Waterdiepte (m)						Chézy-waarde (m <sup>0,5</sup> /s)															
		T=0	na 1 j.	na 5 j.	na 10 j.	na 30 j.	na 100 j.	T=0	na 1 jaar			na 5 jaar			na 10 jaar			na 30 jaar			na 100 jaar		
									Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.
1	50	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
2	100	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	150	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
4	50	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	35	17	17	35	7	17	35	7	10,3	35	7	10,1	35	17	15,4	34
5	400	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	28	17	17	28	17	17	29	7	10,3	28	7	10,1	28	17	15,4	27
6	50	0,438	0,437	0,433	0,428	0,408	0,338	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
7	75	2,534	2,524	2,484	2,434	2,234	1,534	31	31	31	31	6	31	31	6	12,4	31	13	18,7	27	14	14,7	23
8	400	1,714	2,706	2,676	2,639	2,489	1,964	23	37	37	37	7	7	32	7	7	32	6	6,4	28	14	10,6	25
totaal	1275																						
							Afvoer (m <sup>3</sup> /s):	2400	<u>2594</u>	2594	<b>2843</b>	<u>1809</u>	2059	<b>2784</b>	<u>1719</u>	1819	<b>2750</b>	<u>1735</u>	1821	<b>2574</b>	<u>1864</u>	1817	<b>2243</b>

Hydraulische gegevens voor scenario 2 (uitgediepte strang).

Zone (Fig. 1)	Breedte (m)	Waterdiepte (m)						Chézy-waarde (m <sup>0,5</sup> /s)															
		T=0	na 1 j.	na 5 j.	na 10 j.	na 30 j.	na 100 j.	T=0	na 1 jaar			na 5 jaar			na 10 jaar			na 30 jaar			na 100 jaar		
									Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.	Nat.	H-nat.	Int.
1	50	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
2	100	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	8,329	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	150	2,267	2,262	2,242	2,217	2,117	1,767	21	21	21	21	7	21	27	7	11,2	27	13	15,8	26	13	14,8	30
4	50	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	35	17	17	35	7	17	35	7	10,3	35	7	10,1	35	17	15,4	34
5	400	1,556	1,553	1,541	1,526	1,466	1,256	28	17	17	28	17	17	29	7	10,3	28	7	10,1	28	17	15,4	27
6	50	0,438	0,437	0,433	0,428	0,408	0,338	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
7	75	2,534	5,494	5,334	5,134	4,334	1,534	31	45	45	45	45	45	45	45	45	45	43	43	43	35	35	35
8	400	1,714	1,709	1,689	1,664	1,564	1,214	23	37	37	37	7	7	7	7	7	7	6	6,4	7	14	10,6	6
totaal	1275																						
							Afvoer (m <sup>3</sup> /s):	2400	<u>2440</u>	2440	<b>2732</b>	<u>2141</u>	2413	<b>2750</b>	<u>2030</u>	2140	<b>2704</b>	<u>2005</u>	2081	<b>2538</b>	<u>1821</u>	1808	<b>2094</b>