

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA

Spankrachtstudie rapport 1A
Kader hydraulische analyse

Verslag

oktober 2001

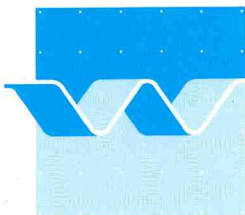
Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA

Spankrachtstudie rapport 1A Kader hydraulische analyse

Verslag

oktober 2001



wL | delft hydraulics

Inhoud

1	Voorwoord	1-1
2	Inleiding.....	2-1
3	Methode hydraulische analyse	3-1
4	Uitgangssituatie.....	4-1
5	WAQUA-instrumentarium	5-1
5.1	Referentiesituatie en uitgangspunten.....	5-1
5.2	Deelmodellen voor de Rijntakken	5-2
5.3	Randvoorwaarden voor het WAQUA-model.....	5-3
5.4	Rooster.....	5-4
5.5	BASELINE-modellering van maatregelen	5-10
5.5.1	BASELINE en het modelleren van maatregelen	5-10
5.5.2	Modellering van autonome ontwikkelingen	5-10
5.5.3	Modellering van buitendijkse maatregelen.....	5-12
5.5.4	Modellering van dijkverleggingen.....	5-12
5.5.5	Modellering van groene rivieren	5-12
5.5.6	Modellering van retentie.....	5-13
5.5.7	Modellering van laterale onttrekkingen.....	5-14
5.5.8	Modellering van Aanvullende Maatregelen	5-14
5.5.9	Modellering van verwijderen van kades.....	5-19
6	Hydraulische taakstelling voor Bovenrivieren.....	6-1
6.1	Topvervlakking	6-1
6.2	Boertienruimte	6-2
6.3	Overhoogte van dijken.....	6-2
7	Retentie	7-1
8	Hydraulische ruwheid bij Aanvullende Maatregelen	8-1
8.1	Inleiding.....	8-1
8.2	Te verwachten ecotoopverdelingen na aanvullende maatregelen.....	8-2

8.3	Bepaling van gecombineerde ruwheid.....	8-3
8.4	Individuele en samengestelde ruwheden	8-8
8.5	Aanvullende opmerkingen.....	8-11

I Voorwoord

Het voorliggende rapport maakt onderdeel uit van de rapportage die door RIZA en WL is opgesteld in het kader van werkzaamheden voor de Spankrachtstudie, fase 1. Deze werkzaamheden zijn vastgelegd in overeenkomst RI-3431. De rapportage bestaat uit de drie delen 1A, 1B en 1C. Het voorliggende rapport is Rapport 1A.

Onderstaand overzicht geeft aan welke onderdelen in de rapporten worden besproken:

Rapport 1A: Kader hydraulische analyse

Rapport 1A beschrijft de volgende onderwerpen:

- modellen en randvoorwaarden bij de screening van maatregelen;
- hydraulische taakstelling;
- retentie;
- overhoogte van dijken; en
- hydraulische ruwheden bij Aanvullende Maatregelen.

Rapport 1B: Screening van maatregelen

Rapport 1B beschrijft de volgende onderwerpen:

- overzicht van beschouwde maatregelen;
- bespreking van afzonderlijke maatregelen;
- overzicht van effecten; en
- bergingscapaciteit in de stuwpannen van de Neder-Rijn.

Rapport 1C: Overige onderwerpen

Rapport 1C beschrijft de volgende onderwerpen:

- methode berekening van kosten;
- review van GIS-bestanden;
- lange-termijn morfologische aspecten;
- zijdelingse toestroming;
- combineren van WAQUA-schematisaties; en
- beknopte bespreking Blokkendoos.

Naast bovengenoemde rapporten is een CD verschenen met daarop de zogenaamde Blokkendoos. De Blokkendoos bevat per maatregel de een groot aantal kenmerken (hydraulisch effect bij uitvoering, kosten, oppervlakken, etc.) en een aantal foto's van de betreffende locatie. Met de Blokkendoos kan de gebruiker zelf een pakket maatregelen samenstellen om te voldoen aan een gekozen hydraulische taakstelling per Rijntak (en daarmee impliciet een keuze van de gebruiker over de afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop en de IJsselkop. Tevens is in de Blokkendoos het benedenrivierengebied meegenomen.

2 Inleiding

Doel van dit rapport

In het kader van de Spankrachtstudie fase 1 wordt een groot aantal mogelijke maatregelen bestudeerd. Voor de bepaling van hydraulische effecten worden daartoe alle maatregelen gemodelleerd met BASELINE en worden berekeningen uitgevoerd met WAQUA. Een groot deel van deze maatregelen is eerder al met behulp van SOBEK doorgerekend in het project Ruimte voor Rijntakken (RvR).

Het gaat om de volgende typen maatregelen:

- hydraulische knelpunten: knelpunten uit Set 1 van RvR;
- grootschalige dijkverleggingen: 20.000 nummers uit RvR met enkele aanvullingen;
- kleinschalige dijkverleggingen: 30.000 nummers uit RvR en enkele dijkverleggingen uit Set 1;
- groene rivieren: zowel kleinschalige rondom steden als grootschalige groene rivieren;
- retentie;
- integrale maatregelen: aanvullende maatregelen, integraal verwijderen van kades, zomerbedverlaging en kribverlaging; en
- laterale onttrekkingen: reductie van bijdrage in zijdelingse toestroming op IJssel.

Dit rapport beschrijft het kader van de hydraulische analyse, teneinde vast te leggen welke aannames gedaan zijn en welke randvoorwaarden gebruikt zijn bij het analyseren van de effecten van maatregelen. De nadruk ligt op de hydraulische randvoorwaarden en de benadering van een aantal essentiële punten voor de analyse zoals de hydraulische taakstelling en retentie.

Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de aanpak van de hydraulische analyse voor de Spankrachtstudie. Voor een gedetailleerde omschrijving van de maatregelen en hun effecten wordt verwezen naar rapport 1B.

Hoofdstuk 3 legt in grote lijnen hoe de maatregelen gemodelleerd zijn met BASELINE.

Hoofdstuk 4 beschrijft de Ausgangssituatie.

In hoofdstuk 5 komen alle aspecten met betrekking tot het WAQUA-instrumentarium en het rooster aan de orde.

Hoofdstuk 6 laat zien welke methode gebruikt is om de hydraulische taakstelling te bepalen en te implementeren in de Blokkendoos.

Hoofdstuk 7 gaat dieper in op het effect van retentie en hoe dit berekend is voor de Spankrachtstudie.

Hoofdstuk 8 bespreekt tenslotte de hydraulische ruwheid bij aanvullende maatregelen.

Medewerkers

De hydraulische analyse is uitgevoerd door dr.ir. F.X. Suryadi, ir. C. Stolker, ing. J.I. Crebas en ir. S.A.H. van Schijndel. Deze laatste was tevens projectleider. Voor de GIS-activiteiten waren drs. M. Ververs en R. van Buren betrokken bij het project. De effecten van retentie is onderzocht door dr.ir. F.L.M. Diermanse.

De projectleiding bij de roosteruitbreiding was in handen van ir. C. Stolker. Ir. L.J.M. Hulsen heeft zorg gedragen voor het uitvoeren van de werkelijke roosteraanpassingen. Hiertoe is hij bijgestaan door ir. H.W.J. Kernkamp, waar het ging om advies t.a.v. de roosteraanpassingen en door. dhr. A.W.J. Koster en ir. C. Stolker bij de uitvoering van de roosteruitbreidingen. Ir. H.R.A. Jagers heeft de roosteruitbreidingen gecontroleerd in het kader van de kwaliteitstoetsing.

De projectleiding van het bouwen van de instrumenten om de verschillende WAQUA-schematisaties met elkaar te combineren lag in handen van ir. C. Stolker. De feitelijke instrumenten zijn ontwikkeld door Meander Advies en Onderzoek. De kwaliteitscontrole is verzorgd door ir. C. Stolker.

De projectleiding van het totale project was aan de zijde van WL in handen van ir. J.P.M. Dijkman. Van de zijde van RIZA werd het project geleid en begeleid door ir. W. Silva.

3 Methode hydraulische analyse

De gehele analyse wordt uitgevoerd met BASELINE en WAQUA. Het genereren van de figuren gebeurt automatisch met MATLAB. Gezien het grote aantal door te rekenen maatregelen en gezien de rekentijden van BASELINE is het niet wenselijk om voor iedere maatregel met BASELINE een WAQUA-schematisatie te generen. Daarom is een instrument ontwikkeld dat op basis van een referentie WAQUA-schematisatie en een WAQUA-schematisatie met (veel) maatregelen een nieuwe schematisatie kan genereren met slechts één maatregel.

Voorwaarde voor deze methode is dat maatregelen elkaar niet ruimtelijk overlappen. Aangezien dit veelvuldig voorkomt, is een tweetal WAQUA-schematisaties gegenereerd waarin tezamen alle maatregelen zijn verwerkt. Afhankelijk van de maatregel wordt de referentie gecombineerd met de éne of met de andere WAQUA-schematisatie. Voor iedere maatregel is bepaald welke roostercoördinaten in de directe omgeving van de maatregel liggen. Voor deze coördinaten wordt de informatie voor bodem, ruwheid en overlaten uit de WAQUA-schematisatie voor de maatregelen genomen. Voor alle overige punten is de referentiesituatie van toepassing. Dit alles is volledig geautomatiseerd en maakt mogelijk om een groot aantal maatregelen relatief snel afzonderlijk door te rekenen.

Na het genereren van een schematisatie met één maatregel kan een WAQUA-berekening worden gestart. Voor iedere tak zijn de randvoorwaarden tijdens de screening iedere keer gelijk. Een uitzondering hierop vormt de IJsseldelta. Hoe hiermee wordt omgegaan staat vermeld in hoofdstuk **Error! Reference source not found.** Na vergelijking met de referentiesituatie kan vervolgens het hydraulisch effect van een afzonderlijke maatregelen worden bepaald.

Van iedere berekening zijn de volgende figuren beschikbaar:

- waterstandsverschil op de rivieras voor de gehele tak;
- waterstandsverschil op de rivieras in de omgeving van de maatregel;
- waterstandsverschil in 2D in de omgeving van de maatregel;
- verschil in debietverdeling op de raai op het breedste punt van de maatregel;
- stroombanen in de omgeving van de maatregel; en
- stroombanen in de referentiesituatie in de omgeving van de maatregel.

Op basis van deze figuren is zichtbaar of de berekening correct is uitgevoerd en wat het hydraulisch effect van een maatregel is. Tegelijkertijd met het maken van de figuren wordt een ASCII-bestand gegenereerd waarin voor iedere 100 m de waterstand is aangegeven en het verschil met de referentiesituatie.

vele meters over de 23?

Uiteindelijk worden de resultaten van de berekeningen opgenomen in de zogenaamde Blokkendoos. In de Blokkendoos kan per tak een taakstelling worden gekozen en vervolgens kunnen maatregelen worden ingezet om aan die taakstelling te voldoen. Voor een beknopte beschrijving van de functionaliteiten van de Blokkendoos wordt verwezen naar rapport 1C.

4 Uitgangssituatie

Vanzelfsprekend is het van belang om de rivierkundige uitgangssituatie (referentiesituatie) scherp te definiëren. Deze uitgangssituatie vormt de basis waarmee andere berekeningen worden vergeleken en is het vertrekpunt voor rivierkundige uitbreidingen of aanpassingen. Het ligt voor de hand om voor de uitgangssituatie de situatie van 2001 te kiezen. Effecten van (combinaties van) maatregelen, in termen van waterstanden maar ook areaal natuur en kosten, worden met die situatie vergeleken.

Naast een referentiesituatie is echter ook de autonome ontwikkeling van belang, ofwel welke maatregelen en plannen die in de nabije toekomst 'zeker' (uiterlijk rond 2005) worden uitgevoerd en die dus in eerste instantie geen discussiepunt meer vormen bij het samenstellen van inrichtingsalternatieven voor de Rijntakken.

Zowel de referentiesituatie als de autonome ontwikkeling hebben consequenties voor de hydraulische taakstellingen (het verschil tussen waterstanden bij enerzijds bijvoorbeeld 18.000 of 16.000 en anderzijds 15.000 m³/s te Lobith), tenzij relevante maatregelen MHW-neutraal zijn uitgevoerd. Maar ook al is dit laatste het geval dan is het nog steeds essentieel beide situaties goed te kennen; enerzijds om tot een correcte effectenafhandeling te komen anderzijds om doublures met andere maatregelen en plannen te voorkomen.

Het WAQUA-model c.q. de gebiedsschematisatie die gebruikt is in het voorliggende onderzoek, is de schematisatie die gebruikt is voor het Randvoorwaardenboek 2001. Deze modelschematisatie is gekalibreerd door middel van dynamische sommen op het hoogwater van 1995 en geverifieerd met het hoogwater van 1993. Deze schematisatie dient zodanig te worden uitgebreid dat aan de eisen van referentie- en autonome situatie wordt voldaan.

De schematisatie die voor het Randvoorwaardenboek 2001 is gebruikt is gebaseerd op de situatie van 1997 voor wat betreft de geometrische schematisatie en het bodemgebruik. Deze schematisatie bevatte onder andere de verlaagde Millingendam en elf natuurontwikkelingsprojecten. Verleende vergunningen voorzien in de mogelijkheid veelal hoogwater-vrije terreinen (hydraulische obstakels) te handhaven en eventueel uit te breiden, mits ze rivierkundig gezien worden gecompenseerd. Tevens betreffen verleende vergunningen de vergunningen voor het winnen van klei (baksteenindustrie). Voor de screening (en het Randvoorwaardenboek 2001) is de totale vergunning meegenomen. Opgemerkt wordt dat dit mogelijk niet de huidige of eventueel niet eens de toekomstige situatie beschrijft.

In eerste instantie is besloten de plannen Bakenhof en Stuweiland Driel, naast de reeds aanwezige inhoud van schematisatie van het Randvoorwaardenboek 2001, tot de referentiesituatie te rekenen, omdat deze reeds zijn of thans worden uitgevoerd. Ten tweede is besloten de plannen Nijmegen (Veur-Lent), Hondsbroeksche Pleij, Lexkesveer en Spoorbrug Oosterbeek in ieder geval tot de Autonome situatie te rekenen, aangezien hier reeds al een beslissing tot uitvoering over is gevallen.

Tabel 4-1 geeft een overzicht van de principe-inhoud van zowel de vastgestelde Referentiesituatie als de Autonome situatie. Daarnaast wordt in de tabel ingegaan op welke projecten / plannen van de laatste jaren in het Randvoorwaardenboek van 2001 zijn meegenomen.

Tabel 4-1 Maatregelen die in het Randvoorwaardenboek, Referentiesituatie en Autonome situatie zijn c.q. dienen te worden opgenomen.

Randvoorwaardenboek (2001)	Referentiesituatie (2001)	Autonome situatie (2005)
Vergunningen: <ul style="list-style-type: none">• Klompenwaard• Waaier van Geulen• Schipperwaard• Steenwaard• Goilberdinger waard• Stichtse Rijnlanden• Duursche waarden Natuurontwikkelingsprojecten: <ul style="list-style-type: none">• Bemmelse Waarden• Passewaay• Dreumelse waard• Stiftse uiterwaarden• Hurwenen• Zaltbommel• Gamerense waarden• Breemwaard• Wageningse benedenwaarden• Ossenwaard• Scherenwelle en Koppelerwaard Verlaagde Millingendam	Randvoorwaardenboek (2001) + Bakenhof Stuweiland Driel	Randvoorwaardenboek (2001) + Referentiesituatie (2001) + Nijmegen (Veur - Lent) Hondsbroeksche Pleij Lexkesveer Spoorbrug Oosterbeek

Ten aanzien van de Vergunningen geeft Tabel 4-2 meer informatie.

Tabel 4-2 Extra informatie over de Vergunningen

code	oever	tak	van kmr	tot kmr	omschrijving	opmerkingen
30407	R	W	868	870.5	Klompenwaard	Kaliwaal + Leeuwensewaard samen Waaier van Geulen
	R	W	909	913	Schipperwaard / grote Willemspolder	
	B	W	906	907	Waaier van Geulen	
	R	NL	938	942.5	Steenwaard	(veerstoept Welsum)
	R	NL	969.5	970.5	Stichtse Rijnlanden	
	L	NL	941	945	Goilberdingenwaard	
	R	IJ	958	965	Duursche Waarden	

In mei 2001 is er door middel van een memo een verzoek geplaatst bij RWS-DON en RIZA voor uitbreiding van bovenstaande tabellen. Door het uitblijven van reacties en de noodzaak door te gaan met de studie is in onderling overleg met RIZA besloten met het huidige WAQUA model (Randvoorwaardenboek 2001) verder te gaan en alle maatregelen die in de referentiesituatie horen en alle autonome ontwikkelingen als afzonderlijke maatregelen mee te nemen teneinde in een later stadium te kunnen kiezen welke maatregelen wel en welke niet in de referentiesituatie meegenomen behoeven te worden.

5 WAQUA-instrumentarium

5.1 Referentiesituatie en uitgangspunten

Voor de Spankrachtstudie worden de berekeningen uitgevoerd met het 2D-stromingsmodel WAQUA. WAQUA is een onderdeel van de SIMONA omgeving. De SIMONA-omgeving voor dit project is niet standaard, maar bevat de verbeterde kades- en overlatenmodule die door RIZA is ontwikkeld, en waarmee de ijking van het WAQUA-Rijntakken model is uitgevoerd.

Voor de referentiesituatie wordt gebruik gemaakt van de gegevens waarmee de nieuwe waterstanden voor het Randvoorwaardenboek 2001 worden berekend. Uitgangspunt is de schematisatie van 1995 waarmee de kalibratie is uitgevoerd. Om het model geschikt te maken voor het berekenen van de nieuwe waterstanden is het zomerbed vervangen door de situatie van 1997 en daarnaast zijn de ontwikkelingen tussen 1995 en 2001 doorgevoerd zoals beschreven in de inleiding. Omdat in de Spankrachtstudie een groot aantal binnendijkse maatregelen moet worden gemodelleerd is het oorspronkelijke WAQUA-rooster sterk aangepast. Dit heeft effect op de berekende waterstanden. Voor een goede bepaling van het effect van een maatregel moet daarom de schematisatie voor de referentiesituatie gebaseerd zijn op het nieuwe rooster. De verschillen tussen beide roosters worden later in dit rapport beschreven.

Het effect van de maatregelen wordt bepaald bij een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith. Dit komt overeen met de nieuwe maatgevende Rijnafvoer.

Er wordt in deze studie van uitgegaan dat het effect van een maatregel niet beïnvloed wordt door de hoogte van de afvoer. Om dit uitgangspunt te ondersteunen is voor een aantal maatregelen ook het effect bepaald bij een afvoer van 15.000 m³/s en 18.000 m³/s bij Lobith. Dit wordt in fase 2 van de Spankrachtstudie nader onderzocht.

Zoals aangegeven in de inleiding is ervoor gekozen twee nieuwe WAQUA-schematisaties te genereren. In beide schematisaties zijn dijkverleggingen en groene rivieren opgenomen zodat de randen van de modellen van elkaar verschillen. De rand van het model (enclosure) volgt de nieuwe bandijk en de bodemhoogtes van de dijkverleggingen en de groene rivieren worden voor de referentiesituatie op een fictieve hoogte van 24,0 m gezet. Waar zich in het oorspronkelijke referentiemodel op de rand loodrechte wanden bevonden, wordt nu geïnterpoleerd. En omdat beide schematisaties andere dijkverleggingen en groene rivieren bevatten, wijken de beide referentiesituaties ook enigszins van elkaar af. Om het juiste effect van een maatregel te kunnen bepalen, moet daarom vergeleken worden met de corresponderende referentiesituatie.

Hydraulische effecten van maatregelen kunnen strikt genomen niet zomaar bij elkaar worden opgeteld. Zeker niet als ze zich in elkaars invloedssfeer bevinden. Binnen deze studie gebeurt dat echter wel. Dit is geoorloofd omdat het hier een oriënterende studie betreft en omdat in een later stadium de gekozen alternatieven als combinatie zullen worden

wel mogelijk niet
uitgevoerd

doorgerekend. Om een idee te krijgen van de afwijkingen die ontstaan door effecten op te tellen, is een aantal combinaties van maatregelen doorgerekend. De resultaten hiervan zijn op moment van schrijven nog niet beschikbaar (dit is een onderdeel van Spankracht fase 2).

5.2 Deelmodellen voor de Rijntakken

Voor dit project is het oorspronkelijke Rijntakkenmodel in deelmodellen opgeknipt. De belangrijkste reden hiervoor is dat, evenals in RvR, de debietverdeling over de takken gelijk moet worden gehouden. Met het huidige vrijstromende model is dat nog niet mogelijk. Daarnaast geeft het huidige rooster weinig uitbreidingsmogelijkheden om de grootschalige dijkverleggingen en groene rivieren te modelleren. Een bijkomend voordeel van het opknippen van het rooster is dat de werkzaamheden nu ook eenvoudig parallel kunnen worden uitgevoerd en bovendien bespaart het rekentijd per maatregel.

Omdat het effect van maatregelen in bovenstroomse richting tot aan de Boven-Rijn moet worden meegenomen, is het niet mogelijk de takken na de splitsingspunten af te knippen. Bovendien zou het dan niet mogelijk zijn om het effect te bepalen van de knelpunten rondom de splitsingspunten. Daarom wordt gekozen voor onderstaande indeling van drie deelmodellen, waarbij de totale grootte van de zijdelingse onttrekking wordt gebaseerd op de wenselijke debietverdeling:

1. Boven-Rijn met Waal met afvoer $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith en een zijdelingse onttrekking voor het Pannerdensch Kanaal op kmr 870;
2. Boven-Rijn met Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn met afvoer $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith en zijdelingse onttrekkingen voor de Waal op kmr 874 en de IJssel op kmr 882; en
3. Boven-Rijn met Pannerdensch Kanaal en IJssel met afvoer voor $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith en zijdelingse onttrekkingen voor de Waal op kmr 874 en de Neder-Rijn op kmr 882,5.

De afwezige tak ter plaatse van het splitsingspunt wordt slechts voor een kort deel meegenomen. Door middel van het definiëren van een zijdelingse onttrekking aan het eind van deze tak wordt de juiste debietverdeling gerealiseerd. Om de stabiliteit van het numerieke model te garanderen is een realistische debietverdeling voor de zijdelingse onttrekking toegepast. Hiertoe is met behulp van BASELINE en het aangepaste rooster een schematisatie gegenereerd voor het gehele Rijntakkengebied. Met dit vrijstromende model is een berekening gemaakt met een debiet van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Het resultaat van deze berekening geeft een indicatie voor de debietverdeling in dwarsrichting op de randen van de deelmodellen. Op basis van de gewenste debietverdeling over de takken worden de randvoorwaarden uiteindelijk gedefinieerd. Voor het berekenen van het effect van een maatregel wordt vanzelfsprekend het model gebruikt waarin de maatregel ligt.

Omdat de splitsingspunten nog steeds aanwezig zijn in de deelmodellen is het van belang te controleren of het stroombeeld op de splitsingspunten overeenkomt met het vrijstromende model. Met name bij maatregelen net benedenstrooms van de splitsingspunten speelt het stroombeeld een belangrijke rol. Het blijkt echter dat het stroombeeld niet noemenswaardig wordt beïnvloed door de gekozen aanpak. Zowel stroomsnelheden als richtingen komen sterk overeen met het vrijstromende model.

voer
(hoe zijn de omtrekken opgesteld)
als Nieuw deels Oerflood

5.3 Randvoorwaarden voor het WAQUA-model

Effecten van maatregelen worden bepaald bij een stationaire afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith. Voor de verdeling op de splitsingspunten wordt ervan uitgegaan dat de huidige afvoerverdeling bij 15.000 m³/s volgens het Randvoorwaardenboek 1996 gehandhaafd blijft. Tabel 5-1 geeft de daarbijbehorende debieten voor de respectieve takken.

Tabel 5-1 Afvoerverdeling op de splitsingspunten bij diverse afvoeren te Lobith

afvoer te Lobith	15.000 m ³ /s		16.000 m ³ /s		18.000 m ³ /s	
	afvoer (m ³ /s)	%	afvoer (m ³ /s)	%	afvoer (m ³ /s)	%
Lobith	15.000	100,0	16.000	100,0	18.000	100,0
Waal	9.470	63,5	10.165	63,5	11.436	63,5
Pan.Kanaal	5.830	36,5	5.835	36,5	6.564	36,5
Neder-Rijn/Lek	3.165	21,1	3.376	21,1	3.798	21,1
IJssel	2.305	15,4	2.459	15,4	2.766	15,4

De benedenranden van het WAQUA-model van de Rijntakken vallen buiten het beheergebied van DON. Tabel 5-2 geeft de topografische locatie weer van de benedenranden van het WAQUA model en de benedenrand van het beheergebied van DON.

Tabel 5-2 Locatie WAQUA benedenranden en DON benedenranden voor de Rijntakken

tak	WAQUA- benedenrand	benedenrand beheergebied DON
Waal	Werkendam (kmr 961)	Gorinchem (kmr 953)
Neder-Rijn / Lek	Krimpen aan de Lek (kmr 988)	Schoonhoven (kmr 969)
IJssel	Ketelmeer (kmr 1006)	IJsselmeer (-)

De benedenstroomse randvoorwaarden voor het WAQUA model volgen uit Q-h-relaties die zijn berekend door RWS met het SOBEK-model voor het Noordelijk Deltabekken (dat ook wordt gebruikt in de Spankrachtstudie voor het benedenrivierengebied). Bij het vaststellen van deze randvoorwaarden is rekening gehouden met een zeespiegelrijzing van 0,6 m. Tabel 5-3 toont de waterstanden voor de benedenstroomse randen zoals deze zijn gebruikt voor het bepalen van het effect van maatregelen.

Tabel 5-3 Benedenstroomse waterstanden voor het WAQUA-model

tak	WAQUA- benedenrand	waterstand
Waal	Werkendam (kmr 961)	4,41 m +NAP
Neder-Rijn / Lek	Krimpen aan de Lek (kmr 988)	1,91 m +NAP
IJssel	Ketelmeer (kmr 1006)	0,30 m +NAP

Bij het bepalen van de effecten van maatregelen zijn de zijdelingse toestromingen voor de Rijntakken niet meegenomen. De berekeningen zijn stationair zodat het effect van zijdelingse toestromingen wegvalt zodra het verschil tussen de referentiesituatie en een maatregel wordt bepaald.

5.4 Rooster

Aanpassingen aan het rooster ten behoeve van maatregelen

De buitendijkse uitbreidingen vereisen roosterruimte als met WAQUA dient te worden gerekend. Aangezien deze roosterruimte niet altijd aanwezig is, omdat het rooster indertijd is aangemaakt voor het gebied tussen de toenmalig geldende bandijken, dient het huidige WAQUA rooster te worden uitgebreid.

In beginsel was voor 63 dijkverleggingen een roosteruitbreiding noodzakelijk. Hiervan:

- vielen 14 dijkverleggingen binnen het huidige rooster;
- verviel één grootschalige dijkverlegging, namelijk 20208+20209; en
- vielen 5 roosteruitbreidingen binnen een grotere roosteruitbreiding.

Uiteindelijk zijn 43 roosteruitbreidingen uitgevoerd. Tabel 5-4 geeft een overzicht van de roosteruitbreidingen.

Tabel 5-4 Overzicht roosteruitbreidingen

nr	code	oe- ver	tak	van kmr	tot kmr	omschrijving	opmerkingen
Grootschalige Dijkverleggingen							
1	20201	L	W	877	882.8	Nijmegen	
2	20202+20203	L	W	889.1	894.1	Beuningen/Ewijk	
3	20203+20204	R	W	892.3	898.5	Ewijk/Winssen	
4	20205	R	W	917	920.4	Zennewijnen	
5	20206	R	W	923.8	927	Heesselt	
6	20207	L	W	935.5	936.5	Zaltbommel	
7	20208+20209	L	W	938.2	940.5	Nieuwaal/Hellouw	vervallen
8	20209+20210	R	W	940.2	941.1	Hellouw/Zuilichem	
9	20211	L	W	947	948.3	Brakel	
10	20301	L	PK	869.5	871.7	Sterreschans	
11	20302	L	PK	871.7	873	Roswaard	
12	20303	R	PK	877.3	878.5	Schans	
13	20401	L	NR	879.5	881.5	Malburgen	
14	20402	L	NR	887.3	890.7	Vogelenzang	
15	20403	L	NR	905.8	909.3	Kesteren	
16	20404	L	NR	909.6	913	Lienden	
17	20405+20406	L	NR	934.8	938.6	Redichemse Waard / De Bothol	
18	20406+20407	R	NR	938.6	941	De Bothol/Steenwaard	
19	20408	R	NR	943.2	945.9	De Morgenstond	
20	20502	R	IJ	883.9	885.5	Lathum	
21	20503	R	IJ	904	914.5	Olburgen	valt binnen Steenderen
22	20504	L	IJ	918.4	924	Cortenoever	
23	20505	L	IJ	929.3	933.1	De Voorster Klei	valt binnen Zutphen
24	20506	L	IJ	946.8	947.6	Melkleen	
25	20507	L	IJ	955	960	Welsommerwarden	
26	20508	L	IJ	966	970.5	Marler Waarden	
27	20509	R	IJ	980.8	984.9	Westenholte	
28	20510	R	IJ	991.4	994.7	IJsselmuiden	
Stedelijke knelpunten							
1	50001	R	W	936	938	Haaften (groene rivier)	
2	50002	R	IJ	903	916.5	Steenderen (dijkverlegging)	

nr	code	oe- ver	tak	van kmr	tot kmr	omschrijving	opmerkingen
3	50003	L	IJ	926	935	Zutphen (groene rivier)	
4	50004	L	IJ	943	947.5	Deventer (dijkverlegging)	
5	50005	L	IJ	946	961.7	Oene	
6	50006	L	IJ	960.7	972.1	Wapenveld	
7	50007	L	IJ	918	925	Rhienderen	
8	50008	R	IJ	994	996	Kampen (Dijkverlegging)	
9	40501	R	IJ	997	1002	Kampen (Dijkverlegging)	
10	40502	L	IJ	990	991	Kampen (groene rivier)	
11	40503	L	IJ	990	999	Kampen (groene rivier)	
Autonome ontwikkelingen							
1						Nijmegen	
2						Bakenhof	valt binnen huidige rooster
3						Hondsbroeksche Pleij	valt binnen huidige rooster
'kleinschalige' dijkverleggingen							
1	02800	R	W	917.9	919.4	vernauwing (Ophemert)	
2	30204	R	W	885.3	886.3	dijkverlegging Hof van Holland	
3	30205	R	W	888.3	888.8	dijkverlegging Oosterhout	valt binnen huidige rooster
4	30206	R	W	891.3	893.3	dijkverl. Loenensche Buitenpolder	valt binnen 20203+20204
5	30207	L	W	895.8	896.8	dijkverlegging Winssen	Bespreken
6	30208	R	W	895.8	897.3	dijkverlegging Dodewaard	valt binnen 20203+20204
7	30212	R	W	924	925	dijkverlegging Heesselt	valt binnen 20206
8	30213	L	W	947.2	948.7	dijkverlegging Leuvense veld	valt binnen huidige rooster
9	30214	L	W	948.7	950.2	dijkverlegging Beneden Waarden	valt binnen huidige rooster
10	30401	L	NL	880.3	881.4	dijkverlegging Malburgse veerweg	valt binnen huidige rooster
11	30402	L	NL	888.2	889.7	dijkverlegging Ringdijk-oost	valt binnen huidige rooster
12	30403	L	NL	907.2	908.2	dijkverlegging Marsdijk	valt binnen huidige rooster
13	30405	L	NL	938.2	938.7	dijkverlegging Beusichemse dijk	valt binnen huidige rooster
14	30406	R	NL	954.3	957.8	dijkverlegging Lopik	
15	30407	R	NL	969.3	970.8	dijkverlegging Schoonhoven	valt binnen huidige rooster
16	30505	L	Y	930.2	932.7	dijkverlegging Rammelwaard	valt binnen huidige rooster
17	30506	L	Y	969.3	970.8	dijkverlegging Werven	valt binnen huidige rooster
18	30508	R	Y	992.3	993.8	dijkverlegging IJsselmuiden	valt binnen huidige rooster
19	30509	L	Y	999.3	1001.8	dijkverlegging Kampen	valt binnen huidige rooster
20	8101	R	NL	933	934.5	vernauwing Wijk bij Duurstede	

Criteria ten aanzien van roosteruitbreiding

Wijbenga (1985) noemt in volgorde van belangrijkheid twee criteria die gesteld dienen te worden aan curvilineaire roosters, ten behoeve van nauwkeurigheid van berekeningen:

- zowel de M- als N-gladheid dient kleiner te blijven dan 20%; en
- de orthogonaliteit van de roosteruitbreidingen dient kleiner te zijn dan 0,05.

Bovenstaande eisen zijn - o.a. in het kader van de Spankrachtstudie - enigszins uitgebreid:

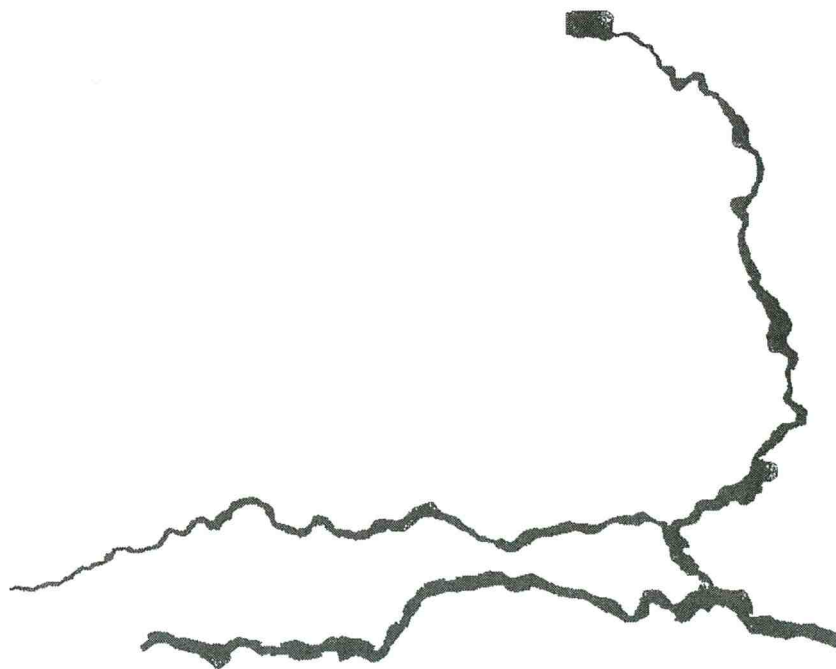
- zowel de M- als N-gladheid dient kleiner te blijven dan 20%, indien dit niet te realiseren is dan in ieder geval lager dan het in het huidige rooster in de omgeving van de betreffende locatie;
- de orthogonaliteit van de roosteruitbreidingen dient kleiner te zijn dan 0,05; doch in ieder geval kleiner dan die van het huidige rooster;
- er dient te worden getracht alle roosteruitbreidingen binnen de beschikbare ruimte van het huidige rooster te realiseren (dus zo min mogelijk nieuwe roosterlijnen toevoegen), hetgeen vermoedelijk niet altijd zal lukken;

- de roosterlijnen van de hoofdgeul dienen zoveel mogelijk onaangetast te blijven; voor de uiterwaarden is dit minder noodzakelijk; en
- roosterlijnen in rivierlangsrichting dienen visueel de te verwachten stroomlijnen te volgen.

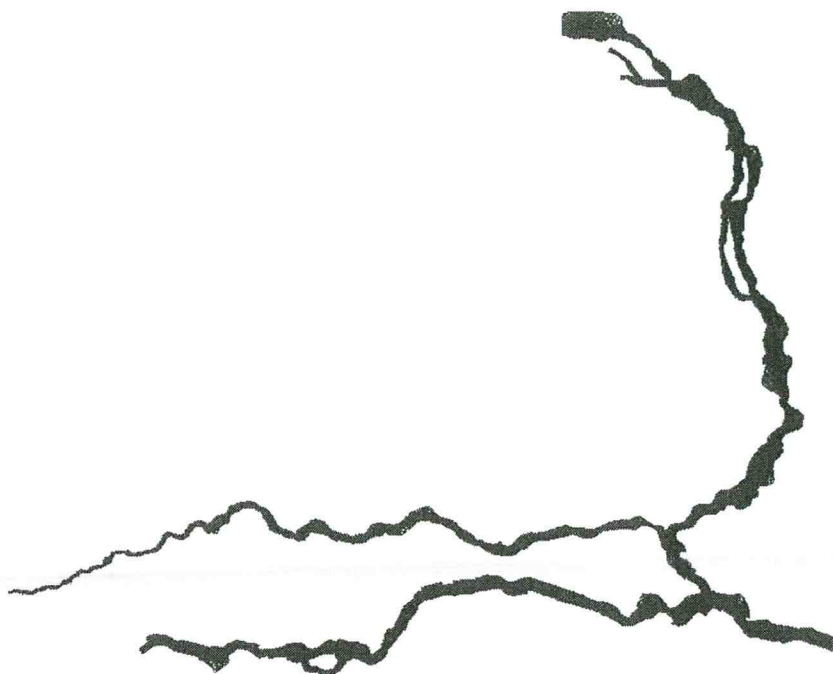
Ter verduidelijking wordt kort ingegaan op de betekenis van gladheid en orthogonaliteit. Gladheid zegt iets over de grootte van de variatie in afmetingen van de gridcellen. Een maximum eis van 20% wil zeggen dat de lengte c.q. breedte van een gridcel niet meer dan 20% mag afwijken van die van zijn burens. Orthogonaliteit is de maat voor de haaksheid van het rooster. Een orthogonaliteit van 0,05 wil zeggen dat de hoek tussen roosterlijnen niet meer dan 5% mag afwijken van 90 graden.

Voor het aanpassen van het rooster is gebruik gemaakt van de roostergenerator RGF-GRID, ontwikkeld door WL. Het huidige rooster is zodanig van opzet dat er weinig ruimte is om roosteruitbreidingen te realiseren; met name aan de rechteroever van de Waal en de Neder-Rijn en de linkeroever van de Neder-Rijn, het Pannerdensch Kanaal en de IJssel. Ondanks deze beperking is het toch gelukt alle roosteruitbreidingen binnen de huidige ruimte uit te voeren.

De roosteruitbreidingen zijn in het kader van de kwaliteitsborging door een derde getoetst aan de criteria die hierboven beschreven staan. Een aantal roosteruitbreidingen is naar aanleiding van deze controle gewijzigd. Figuur 5-1 en Figuur 5-2 geven een overzicht van het huidige rooster en het in het kader van de voorliggende studie uitgebreide rooster.



Figuur 5-1 Huidige rooster WAQUA-model Rijnakken



Figuur 5-2 In het kader van de Spankrachtstudie uitgebreide rooster WAQUA-model Rijnakken

In het projectarchief zijn de roosteruitbreidingen in detail gerapporteerd. Voor dit archief zijn met MATLAB figuren gemaakt in een gebied van 1000 m rondom iedere roosteraanpassing. In deze figuren staan per roosteruitbreiding het originele rooster, het uitgebreide rooster, de orthogonaliteit van het uitgebreide rooster en de M- en N gladheid van het uitgebreide rooster.

De gladheid en de orthogonaliteit van de uitbreidingen blijken hier en daar niet aan de gestelde criteria te voldoen. Dit is echter niet te vermijden door de sterk variërende geometrie van het gebied. Gezien het feit dat ook het originele rooster in de buurt van de uitbreiding vaak niet aan deze eis voldeed, en aangezien getracht is afwijkingen daar te situeren waar weinig stroming te verwachten valt (bijv. binnen gebieden die hoogwatervrij zullen worden) zijn deze afwijkingen geaccepteerd. Wel dient vermeld te worden dat de afwijkingen ten aanzien van de criteria tot het minimum zijn beperkt.

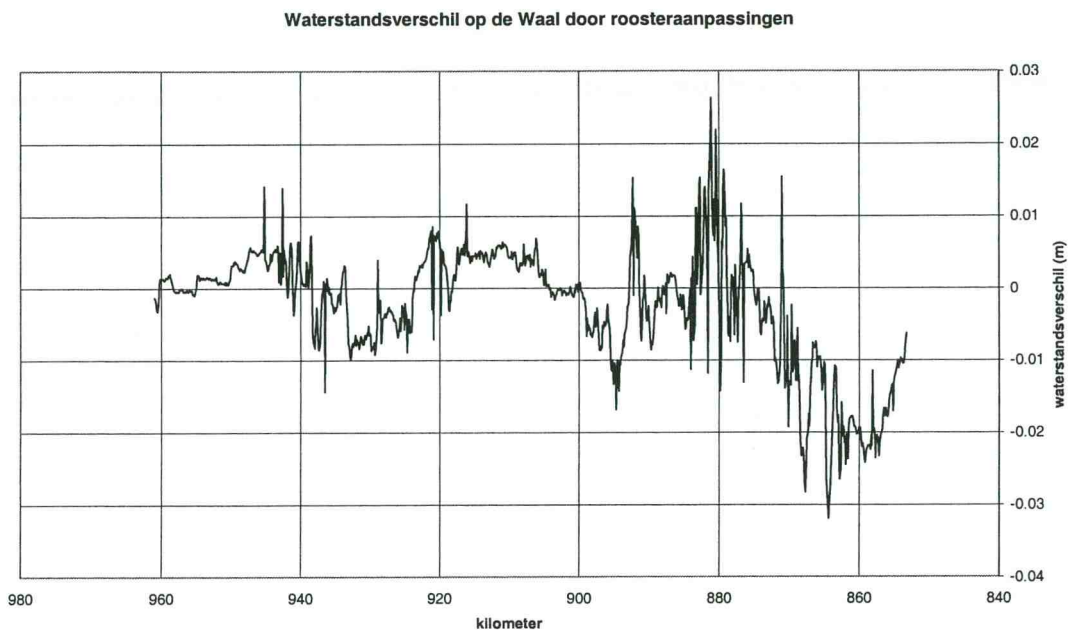
Met name op de IJssel blijken door beperkte uitbreidingsmogelijkheden hier en daar soms weinig roosterlijnen in de hoofdgeul te bevinden, vaak op plaatsen waar dit toch al kritiek was. Bovenstaande afwijkingen zijn geaccepteerd maar hebben mede geleid tot tamelijk grote afwijkingen in de berekende waterstanden ten opzichte van het originele rooster. Na tests met WAQUA blijkt de roosteraanpassing lokaal maximaal een afwijking in waterstand te genereren van -0,03 m op de Waal, -0,10 m op de Neder-Rijn, -0,17 m op de IJssel.

Effect van roosteraanpassingen

Aanpassingen van het rooster leiden tot verschillen in waterstand. Door uitbreidingen kan het gebeuren dat het aantal roostercellen in het zomerbed kleiner wordt of dat de oriëntatie

van de roosterzellen ten opzichte van de stroming wijzigt. Hoewel voor het bepalen van het effect van een maatregel vergeleken wordt met een referentieberekening die op eenzelfde rooster is gemaakt, is het zinvol het effect in te schatten van de aanpassingen die gedaan zijn in het kader van de Spankrachtstudie. Daarom is voor beide roosters een berekening gemaakt met de gegevens uit de referentiesituatie bij een afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Beide WAQUA-schematisaties zijn gegenereerd met behulp van BASELINE.

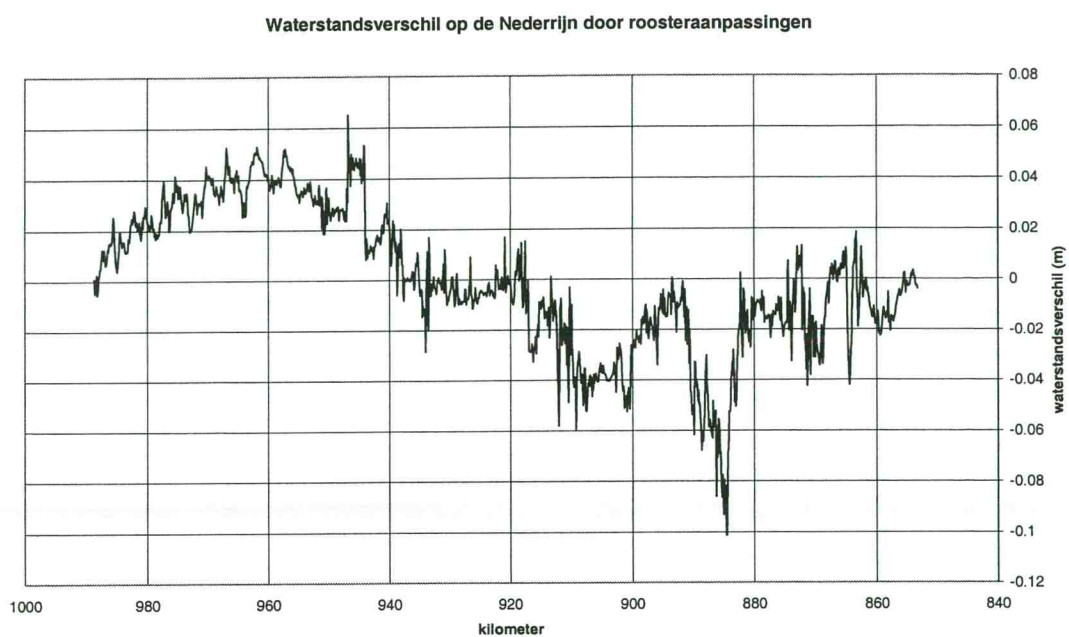
In onderstaande figuren geven voor de afzonderlijke takken het verschil in waterstand, waarbij de op het oude rooster berekende resultaten zijn afgetrokken van de op het aangepaste rooster berekende waterstanden. In Figuur 5-3 is zichtbaar dat de verschillen op de Waal klein zijn en maximaal 0,03 m bedragen. De kwaliteit van het rooster is voor de Waal dus niet afgenomen.



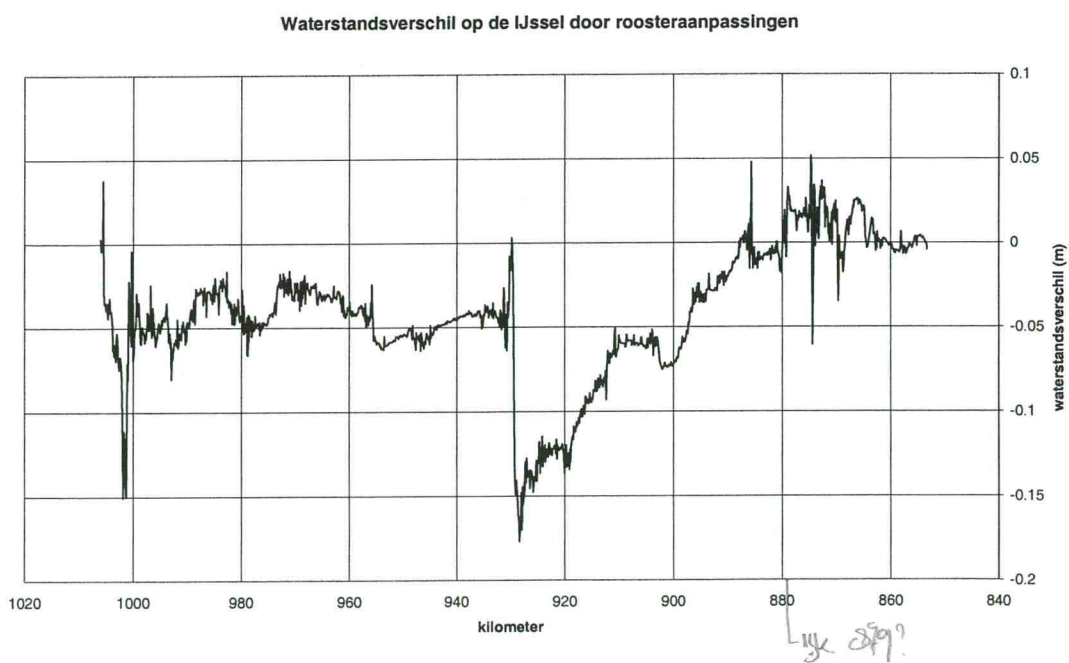
Figuur 5-3 Waterstandsverschillen op de Waal door roosteraanpassingen bij $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Figuur 5-4 toont dat op de Neder-Rijn voor het grootste deel van de tak de verschillen kleiner zijn dan 0,04 m. Enkel in de buurt van Arnhem (kmr 885-886) is het verschil 0,1 m. Voor het aangepaste rooster wijkt de uiteindelijke plaatsing van kades en dergelijke op het rooster af van het oude rooster. Daardoor wordt het zomerbed ter plaatse enigszins smaller, zodat de waterstand omhoog gaat. Het aantal cellen in het zomerbed blijft echter voldoende groot voor een kwalitatief goede berekening.

Figuur 5-5 toont dat voor de IJssel de verschillen maximaal rond de 0,05 m liggen, behalve net benedenstrooms van Zutphen (kmr 930) en net bovenstrooms van het Ketelmeer (kmr 1002), waar het verschil rond de 0,15 m is. In beide gevallen is het verschil te wijten aan de relatief ingrijpende wijziging in de verdeling van cellen in het zomerbed. In het oude rooster zijn in beide gevallen meer cellen aanwezig in het zomerbed. Door het plaatselijk uittrekken van het rooster wordt dit aantal in de nieuwe situatie gereduceerd en dit heeft, zoals verwacht, invloed op de waterstanden. Bovenstrooms van Zutphen blijven deze verschillen zichtbaar tot aan de IJsselkop.



Figuur 5-4 Waterstandsverschillen op de Neder-Rijn door roosteraanpassingen bij $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$



Figuur 5-5 Waterstandsverschillen op de IJssel door roosteraanpassingen bij $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$

5.5 BASELINE-modellering van maatregelen

5.5.1 BASELINE en het modelleren van maatregelen

Voor het modelleren van de maatregelen is gebruik gemaakt van BASELINE. BASELINE is een op ArcInfo gebaseerde GIS applicatie waarmee WAQUA-schematisaties kunnen worden gegenereerd. Als uitgangspunt dienen de door RIZA geleverde bestanden voor BASELINE volgens de schematisatie voor het Randvoorwaardenboek 2001. Het betreft hier hoofdzakelijk bodemgegevens, ruwheden en overlaten. Het uiteindelijke ruwheidsbestand voor WAQUA is opgebouwd uit een groot aantal elementen. Niet alleen vegetatie, maar ook plassen en bebouwing vormen een onderdeel van het ruwheidsbestand. Het overlatenbestand bestaat uit kades, kribben en locaties in het winterbed waar de bodem een sprong maakt.

9. [BASELINE heeft tot doel het genereren van WAQUA-schematisaties onafhankelijk te maken van de kennis die de gebruiker heeft van WAQUA. Door de gebruiker enkel de mogelijkheid te geven een plan ruimtelijk aan te passen met behulp van een GIS-applicatie, zou het niet nodig aanpassingen rechtstreeks door te voeren in de WAQUA-bestanden. Het blijkt echter in de praktijk dat met (de bestaande versie van) BASELINE zo nu en dan wijzigingen in de WAQUA-bestanden nodig zijn om de gewenste modellering van een maatregel te kunnen bewerkstelligen.] 7. Hoofdst. 20

Deze paragraaf gaat kort in op de wijze waarop de verschillende soorten maatregelen gemodelleerd zijn met behulp van BASELINE. Voor maatregelen waarbij het niet mogelijk was ze te modelleren in BASELINE is direct de WAQUA schematisatie aangepast. Er wordt hier niet in detail ingegaan op de uiteindelijke wijzigingen in de schematisatie voor ieder knelpunt. Daarvoor wordt verwezen naar rapport 1B.

5.5.2 Modellering van autonome ontwikkelingen

Autonome ontwikkelingen nemen in de Spankrachtstudie een aparte positie in. De voorbereiding van deze plannen is vergevorderd, maar in de meeste gevallen is de definitieve inrichting nog niet vastgesteld. Onderstaand wordt per maatregel in het kort besproken hoe deze in het kader van de Spankrachtstudie is gemodelleerd.

Spoorbrug Oosterbeek

In de oorspronkelijke situatie loopt de bandijk evenwijdig aan de spoorbrug. In de nieuwe situatie wordt de bandijk doorgetrokken. Tevens wordt aan de bovenstroomse zijde van de uiterwaard de bodem verlaagd en de hoogte van enkele kades wordt aangepast. Dit is nodig om de uiterwaard daadwerkelijk stroomvoerend te maken. Op het moment vindt in de Rosandepolder natuurontwikkeling plaats. Deze aanpassingen zijn door gebrek aan gedetailleerde informatie niet meegenomen in de modellering van het verwijderen van de spoorbrug.

Veerstoep Lexkesveer

216?

huizen blijven staan?

Het verwijderen van veerstoept Lexkesveer bestaat uit het verwijderen van de toegangswegen tot het veer en het weghalen van de hoogwatervrije terreinen waar de veerhuizen op staan. Hier vinden geen verdere natuurontwikkelingen plaats.

Bakenhof

De Bakenhof is geschematiseerd als een dijkverlegging. Vanwege onduidelijkheden over de inrichtingsplannen voor de Bakenhof is ervoor gekozen een gemiddelde bodemhoogte te kiezen voor het nieuwe buitendijkse gebied en als vegetatie uit te gaan van natuurlijk grasland.

Stuweiland Driel

De ontwikkelingen voor Stuweiland Driel zijn vooralsnog enkel beschikbaar op papier. Op basis van tekeningen, afkomstig van Directie Oost Nederland, zijn de bodem en kades aangepast voor Stuweiland Driel. De wijzigingen ten opzichte van de oorspronkelijke schematisatie zijn minimaal. In het midden van het eiland wordt de bodem verlaagd tot 7,60 m + NAP en aan de bovenstroomse zijde van het eiland wordt een kade verlaagd. De vegetatie op het eiland is niet aangepast.

Deze maatregel omvat het verwijderen van de weg naar het eiland niet. Het verwijderen van de weg is apart gedefinieerd als een knelpunt, nummer 6301. Om het totale effect van het aanpassen van Stuweiland Driel te kunnen beoordelen moeten deze maatregelen dus samen worden beschouwd.

*34 verlagen schied
niet met oel en
verlaagd 1m + 140*

Ik neem aan dat zand kniehoogte 26 oienpelt zijn oengyp.

Opmerking: Het verwijderen van de weg met behulp van BASELINE houdt een verlaging in van 3 m, terwijl de weg in werkelijkheid reeds deels verlaagd is tot op circa 1 m boven het maaiveld. Het effect van het verwijderen van de weg zal dus in werkelijkheid kleiner zijn dan is berekend in het kader van de Spankrachtstudie.

Nijmegen Veer-Lent

Voor het modelleren van deze maatregel is uitgegaan van een eerdere WL-studie (Mosselman, 2001). De keuze is gevallen op de S-variant. Dit is een 200 m brede hoogwatergeul waarmee de historische locatie van de binnenschans van Fort Knodsenburg wordt ontzien. De bodem van deze hoogwatergeul ligt op 2,0 m +NAP en aan de bovenstroomse zijde is deze geul van de rivier gescheiden door een instroomdrempel.

Hondsbroeksche Pleij in combinatie met de Schans

De Hondsbroeksche Pleij is geschematiseerd als een dijkverlegging. Vanwege onduidelijkheden over de inrichtingsplannen is ervoor gekozen een gemiddelde bodemhoogte te kiezen voor het nieuwe buitendijkse gebied en als vegetatie uit te gaan van natuurlijk grasland.

In de Spankrachtstudie worden de Hondsbroeksche Pleij en de Schans samen als één maatregel beschouwd, terwijl ze in eerste instantie als twee afzonderlijke dijkverleggingen zijn opgevoerd. Hydraulisch gezien is het echter weinig effectief om de maatregelen afzonderlijk in te zetten. Bovendien beschouwt DON beide dijkverleggingen ook als één geheel.

5.5.3 Modellerings van buitendijkse maatregelen

Bij buitendijkse maatregelen gaat het met name om het verwijderen van hoogwatervrije terreinen en veerstoepten. In enkele gevallen wordt slechts een kade verwijderd. Voor het verwijderen van hoogwatervrije terreinen is het aanpassen van de hoogte het belangrijkste. Op basis van de omliggende hoogtepunten is de nieuwe hoogte van het terrein bepaald. Daarnaast is het van belang bij dergelijke terreinen te controleren of hier een vergunning voor is afgegeven. In dat geval is het terrein in de schematisatie namelijk omringd door oneindig hoge schotten, die ook verwijderd moeten worden.

Bij het verwijderen van veerstoepten gaat het veelal om een combinatie van verlagen van het winterbed en het verwijderen van een toegangsweg of kade. Voor het verwijderen van kades is het voldoende een enkel lijnelement te verwijderen.

5.5.4 Modellerings van dijkverleggingen

Voor alle dijkverleggingen, zowel grootschalig als kleinschalig, is de gelijke aanpak gekozen. Op basis van de beschikbare schetsen voor de nieuwe dijk zijn het rooster en de banddijk aangepast. Vervolgens is de bodemhoogte van het nieuwe buitendijkse gebied bepaald op basis van gegevens uit het hoogtemodel van Nederland. Hiervan is een gemiddelde bepaald voor het betreffende gebied en dat is voor de gehele dijkverlegging toegepast. Voor de vegetatie in het nieuwe gebied is uitgegaan van natuurlijk grasland. De ruwheid hiervan komt overeen met een k-waarde van 0,5 m conform het gekalibreerde WAQUA-model.

5.5.5 Modellerings van groene rivieren

Bij het definiëren van groene rivieren kan onderscheid gemaakt worden in kleinschalige en grootschalige groene rivieren. Het eerste type wordt voornamelijk toegepast in situaties waar dijkverlegging door het bestaande ruimtegebruik op problemen stuit, bijvoorbeeld bij steden. Het tweede type is met name ontstaan vanuit de wens van grootschalige natuurontwikkeling of om opties voor de verre toekomst open te houden. Als groene rivieren als alternatief voor uiterwaardverlaging moeten dienen, betekent dat dat er bij voorkeur niet gegraven wordt. Deze keuze is bepalend geweest bij het vaststellen van het tracé voor de verschillende groene rivieren. Voor een meer gedetailleerd overzicht van de groene rivieren en de werkwijze wordt verwezen naar (Klijn et. al., 2001).

Bij het modelleren van groene rivieren wordt eveneens onderscheid gemaakt in de twee typen. De kleinschalige groene rivieren zijn alle geheel gemodelleerd in WAQUA. Het rooster is uitgebreid en de bodem voor de groene rivieren is overgenomen uit het landelijke hoogtemodel. Omdat het hier om grote oppervlakken gaat, is geen gemiddelde bodemhoogte bepaald, maar zijn de werkelijke bodemhoogtes toegepast. Voor de vegetatie is uitgegaan van natuurlijk grasland.

De grootschalige groene rivieren zijn gemodelleerd door het combineren van een laterale onttrekking op een bepaald punt, met het weer terug laten stromen van hetzelfde debiet op een locatie verder benedenstrooms. Reden voor deze eenvoudige benadering is dat deze

opties voor groene rivieren zijn aangedragen op het moment dat de roosteraanpassingen reeds waren doorgevoerd.

In een later stadium is ook berekend wat het effect op de waterstand is van het toepassen van ruigte in een groene rivier in plaats van natuurlijk grasland. Voor één groene rivier, te weten groene rivier 50005, is een aanvullende berekening gemaakt waarin de ruwheid verhoogd is. Op basis van het resultaat van deze berekening zijn de waterstandseffecten van de andere groene rivieren geschaald.

De gehanteerde methode voor het berekenen van het waterstandseffect bij inrichting als natuur (code NA) in plaats van huidig landgebruik (code HL) voor groene rivieren is gebaseerd op WAQUA-resultaten van de groene rivieren 50005-HL en de groene rivier 50005-NA.

De waterstandsdeling Natuur (dh_{NA}^*) wordt bepaald op basis van de relatie:

$$dQ/dQ^* = dh/dh^*$$

met:

- dQ verschil afvoer HL en NA 50005
- dQ^* verschil afvoer HL en NA te schalen geval
- dh verschil waterstandsdeling HL en NA 50005
- dh^* verschil waterstandsdeling HL en NA te schalen geval

waterstandsdeling 50005 HL	$dh_{HL} = 0,835 \text{ m}$
waterstandsdeling 50005 NA	$dh_{NA} = 0,727 \text{ m}$
verschil waterstandsdeling 50005 HL en NA	$dh_{HL-NA} = 0,108 \text{ m}$

debiet 50005 HL	$Q_{HL} = 568 \text{ m}^3/\text{s}$
debiet 50005 NA	$Q_{NA} = 522 \text{ m}^3/\text{s}$
verschil debiet 50005 HL en NA	$dQ_{HL-NA} = 46 \text{ m}^3/\text{s}$

$$dQ^* = dQ_{HL-NA} / Q_{HL} * Q_{HL}^*$$

$$dh_{NA}^* = dh_{HL} - (dQ_{HL-NA} / dQ^*) * dh_{HL-NA}$$

met:

- Q_{HL}^* debiet Huidig Landgebruik te schalen geval
- dh_{HL}^* waterstandsdeling Huidig Landgebruik te schalen geval

5.5.6 Modelleren van retentie

Retentiebekkens zijn niet geschematiseerd met behulp van BASELINE. Wel is met behulp van WAQUA een aantal berekeningen gemaakt om het effect van retentie te kunnen inschatten. In hoofdstuk 6 wordt in detail ingegaan op de manier waarop deze resultaten gebruikt zijn.

5.5.7 Modellerings van laterale onttrekkingen

Het is niet nodig laterale onttrekkingen te modelleren binnen BASELINE. Met WAQUA kunnen deze direct worden gedefinieerd door op de rand van het model een debiet te onttrekken.

5.5.8 Modellerings van Aanvullende Maatregelen

Aanvullende Maatregelen van Typen 1, 2 en 3 (AM1, AM2 of AM3) zijn ontgravingen in alle uiterwaarden van het Rijntakkengebied met uitzondering van blijf-af-gebieden, gebieden met hoge archeologische waarde, (niet officiële) natuurgebieden die groter zijn dan 5 ha en gebieden die vallen onder de Deltawetprojecten. Daarnaast worden de oevers van de uiterwaarden (t.b.v. voorkomen van grote morfologische impact) niet vergraven. Afhankelijk van grootte van dergelijke vergravingen, en de locatie, zullen bepaalde ecotopen zich gaan ontwikkelen.

In het kort houden de aanvullende maatregelen het volgende in:

- AM1 omvat het vergraven van alle uiterwaarden, met uitzondering van de eerder genoemde uiterwaarden, tot 60% van de landbouwgebruikswaarde (functiebehoud);
- AM2 omvat het afgraven van alle uiterwaarden, met uitzondering van de eerder genoemde uiterwaarden, tot standaard natte natuur (ca. 50% van de tijd overstroomd) (functieomslag naar natuur);
- AM3 houdt verlaging in van alle uiterwaarden tot 60% van de landbouwgebruikswaarde (conform AM1) met uitzondering van de landbouwgronden en de huidige graslanden, die zodanig extra worden vergraven dat er een verhouding 25% open water en 75% grasland ontstaat (lijkt op AM2).

Als gevolg hiervan zullen in de loop van de tijd zich wijzigingen in de ecotopenverdelingen voordoen, hetgeen zal leiden tot wijziging in hydraulische ruwheden van dergelijke gebieden. De ecotopenverdeling die zich naar grote verwachting zal ontwikkelen nadat AM1, AM2 dan wel AM3 is toegepast, is naast de grootte van de betreffende ingreep ook afhankelijk van de gebiedslocatie, de overstromingsduur, de waterdiepte, de tijdsduur c.q. tijdstip na aanleg waarop je informatie wilt hebben en andere gebiedsfactoren.

Bij AM1 alternatief wordt er vanuit gegaan dat alleen de bodemligging wijzigt maar dat de ecotopenverdeling in het gebied ongewijzigd blijft. Het maaiveld wordt overal zodanig vergraven dat de huidige ecotopen nog net gehandhaafd zullen blijven c.q. nog net gedijen.

Bij AM2 wordt standaard natte natuur gecreëerd. Dit wil zeggen dat de uiterwaarden zodanig worden vergraven dat bepaalde huidige ecotopen zullen worden wijzigen in een nattere versie, namelijk:

- huidige landbouwgronden en huidige graslanden worden voor de helft omgezet naar open water en blijven voor de helft grasland (combinatie water-gras);
- huidig bos wordt zachthout-ooibos;
- overige natuur wordt moerasruigte;
- open water blijft open water (dus geen vergraving); en
- bebouwd gebied blijft bebouwd gebied.

De gebieden worden zodanig vergraven dat deze 'nattere' ecotopenversies nog net gedijen.

Bij AM3 wordt een tussenvorm gekozen, omdat AM2 zal zorgen voor (wel) veel open water (natte gebieden). AM3 is dus een minder natte versie van AM2. Dit betekent het volgende:

- huidige landbouwgronden en huidige graslanden worden voor 25% omgezet naar open water en 75% blijft grasland (combinatie water-gras); en
- overige ecotopenverdelingen, evenals bij AM1, blijven ongewijzigd.

Bij AM2 en AM3 zullen gebieden ontstaan die een gecombineerde invulling krijgen; bijvoorbeeld huidige landbouwgronden die voor 50% zullen worden omgezet naar open water en voor de andere helft grasland blijven. De exacte indeling van deze gebieden is natuurlijk op voorhand nog niet bekend. Daardoor zal voor deze gebieden één specifieke ruwheid worden bepaald die de gehele 'lading' dekt. Voor een beschrijving van het samenstellen van de ruwheden voor de Aanvullende Maatregelen wordt verwezen naar Rapport 1C waarin een en ander in detail is uitgewerkt.

In RvR is reeds een methode ontwikkeld waarmee de benodigde bestanden voor BASELINE kunnen worden gegenereerd om de Aanvullende Maatregelen te schematiseren in WAQUA. Van deze methode is wederom gebruik gemaakt.

Aanvullende Maatregelen zijn toegepast voor alle vijf de takken afzonderlijk. Het is daarom mogelijk om bijvoorbeeld op de Boven-Rijn het effect zichtbaar te maken van het toepassen van AM1 op de Boven-Rijn, maar het is ook mogelijk het effect zichtbaar te maken van AM1 op de Waal. Daarnaast kunnen de Aanvullende Maatregelen op twee manieren worden toegepast. Aan de ene kant voor alle uiterwaarden, aan de andere kant voor alle uiterwaarden behalve de zogenaamde L&C uiterwaarden. Voor een overzicht van deze uiterwaarden wordt verwezen naar RvR-rapport 99.05 (Hydraulische effecten van inrichtingsalternatieven).

Methode modellering Aanvullende Maatregelen in BASELINE

Verlagingen in hoogtebestand BASELINE voor AM1, AM2 en AM3

De methode die gebruikt is om het hoogtebestand aan te passen wordt in het vervolg van dit document beschreven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de namen van in ArcInfo gebruikte functies en de namen van de gevormde bestanden. Hierdoor is het later relatief makkelijk na te gaan wat er gedaan is om een bestand aan te maken. Hiervoor kan ook gebruik worden gemaakt van het log-bestand dat zich bevindt in de folder met de naam van de coverage (bij de interne bestanden van een coverage).

In deze paragraaf staat beschreven welke stappen moeten worden doorlopen om van een bestand met hoogtepunten een deel van de hoogtepunten te verlagen. Er is ook een voorbeeld gegeven voor het verlagen van het bestand Winbedhgt voor AM1. Ook de hoogtepunten van de bestanden Hverschil, Breukl en Breuklplas moeten worden aangepast. Dit gaat op een zelfde manier als is beschreven voor het bestand Winbedhgt.

Uitgevoerde stappen:

1. backup maken van hoogtebestand d.m.v. *copy winbedhgt wnbdhgtbac*;
2. converteren van het verlagingsbestand naar een coverage m.b.v. *shape2cover.aml*;
3. visuele controle of cover en shapefile identiek zijn;
4. *intersect winbedhgt met verlagingscover*;
5. *intersect intersectcover met Deltawet gebieden*, dit geeft *intersect-Deltawetcover*;
6. *erase van intersectcover het deel dat overlapt met de Deltawet gebieden*, dit geeft *erase-Deltawetcover*;
7. voeg een kolom toe aan het *erase-Deltawetcover* in tables met *additem*;
8. bereken nieuwe hoogte in tables met *calculate*;
9. *erase van winbedhgt alle records die overlappen met verlagingscover*;
10. in tables *alter* naam van kolom met nieuwe hoogtewaarden van *erase-Deltawetcover*;
11. kopieer *erasescover* naar *cover* met nieuwe naam ;
12. in ArcEdit *edit intersect-Deltawetcover en put* alle records in de *cover* met nieuwe naam;
13. in ArcEdit *edit erase-Deltawetcover en put* alle records in de *cover* met nieuwe naam;
14. alleen voor gecombineerde lijnen- en puntenbestanden: in ArcEdit *edit* originele bestand met lijnen en *put* alle records in de *cover* met nieuwe naam.

Een voorbeeld voor AM1:

- *copy winbedhgt wnbdhgtbac*
- *&r shape2cover.aml /p/q2975/AM1_AM2_AM3/verl_aml_minblfaf.shp /p/q2975/baseline/aml/verlaging/verl_aml*
- *cover en shapefile zijn identiek*
- *intersect winbedhgt ../verlaging/verl_aml wnbdhgt_aml point # join*
- *intersect WNBDAHGT_AM1 ../verlaging/deltawet wnb_int_int point*
- *erase WNBDAHGT_AM1 ../verlaging/deltawet wnb_int_er point*
- *additem wnb_int_er.pat newhgt 4 12 F 2*
- *select wnb_int_er.pat; calculate NEWHGT = HOOGTE - DELTAHC*
- *erase WINBEDHGT ../verlaging/verl_aml wnb_aml_er point*
- *select wnb_int_er.pat; alter; hoogte; hgtold; newhgt; hoogte*
- *copy wnb_aml_er wnbdhgt_verl*
- *edit wnb_int_int;ef point; select all; put wnbdhgt_verl*
- *edit wnb_int_er;ef point; select all; put wnbdhgt_verl*
- *alleen voor gecombineerde lijnen- en puntenbestanden: edit originele lijnenbestand (b.v. hverschil); ef arc; sel all; put hvers_verl*

Van de bestanden met hoogtelijnen worden verschillende items aangepast. Het aantal items dat wordt aangepast bepaalt het aantal keren dat de stappen 7, 8 en 10 uitgevoerd moeten worden. Tabel 5-5 toont welke items in de verschillende bestanden zijn aangepast.

Tabel 5-5 Aan te passen items per bestand

bestand	L_hoogte	K_hoogte	R-hoogte
Hverschil	x	x	x
Breukl		x	
Breuklplas		x	
Kade	x		x

Bepaalde uiterwaarden worden in aparte 'L&C-alternatieven' ongemoeid gelaten. Dat wil zeggen dat er in deze uiterwaarden geen verlagingen uitgevoerd mogen worden. Deze uiterwaarden worden in dit document verder L&C-uitwaarden genoemd. Voor de 'L&C-alternatieven' moeten nieuwe hoogtemodellen aangemaakt worden door aanpassingen aan de invoerbestanden. De te doorlopen stappen worden in het vervolg van de paragraaf beschreven. Deze stappen volgen op de uitgevoerde stappen voor het aanmaken van de bestanden voor AM1, AM2 en AM3.

Uitgevoerde stappen:

1. *erase* uit het verlaagde bestand van AM1, AM2 of AM3 de punten die liggen binnen de polygonen van het L&C-uitwaardenbestand;
2. maak een *intersect* van het bestand met de referentiehoogten en het bestand met de L&C-uitwaarden;
3. kopiëer de L&C-erasecover naar een cover met een nieuwe naam;
4. in ArcEdit *edit* de L&C-intersectcover en *put* alle records in het cover met de nieuwe naam; en
5. alleen voor gecombineerde lijnen- en puntenbestanden: in ArcEdit *edit* originele bestand met lijnen en *put* alle records in de cover met nieuwe naam.

Een voorbeeld voor AM1:

- *erase WNBDHGT_VERL ../verlaging/lencuitw wnbd_lenc_er point*
- *intersect wnbdhgt_ref ../verlaging/lencuitw wnbd_lenc_int point # join*
- *copy WNBD_LENC_ER wnbd_lenc_vl*
- *edit wnbd_lenc_int; ef point; select all; put wnbd_lenc_vl*
- *alleen voor gecombineerde lijnen- en puntenbestanden: edit originele lijnenbestand (b.v. hverschil); ef arc; sel all; put hvers_lc_vl*

De bestanden die gebruikt worden voor het aanmaken van het hoogtemodel in baseline zijn:

- bestand met hoogtegegevens zomerbed;
- aangepast bestand met hoogtegegevens winterbed;
- bestanden met hoogtegegevens van plassen (plashgtpeil, plashgt en ketelmhgt);
- aangepast bestand met hoogtegegevens en hoogtelijnen van hoogteverschillen in het landschap (de zogenaamde overlaten);
- aangepaste bestanden met hoogtegegevens en hoogtelijnen van knikpunten in het landschap (de zogenaamde breuklijnen) (breuklplas en breukl);
- het bestand met de hoogtegegevens en lijnelementen van de bandijk; en
- het bestand met begrenzing van het winterbed.

Aanpassing ecotopenbestand BASELINE voor AM2 en AM3

De methode die gebruikt is om het ecotopenbestand aan te passen wordt in het vervolg van dit document beschreven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de namen van in ArcInfo gebruikte functies en de namen van de gevormde bestanden. Hierdoor is het later relatief makkelijk na te gaan wat er gedaan is om een bestand aan te maken. Hiervoor kan ook gebruik worden gemaakt van het log-bestand dat zich bevindt in de folder met de naam van de coverage (bij de interne bestanden van een coverage).

Uitgevoerde stappen:

1. haal de gebieden uit het nieuwe bestand die overlappen met de deltawetgebieden m.b.v. *erase*;
2. voeg in tables een kolom toe met de naam *ruw_code*;
3. vul in tables deze kolom in voor de verschillende ecotoopclusters door alle elementen van een ecotoopcluster te selecteren en m.b.v. *calculate* een waarde aan deze selectie toe te kennen;
4. weghalen van de items die niet voorkomen in het bestand *ecoruw*; en
5. knippen van het nieuwe bestand met de winterbed grenzen van de verschillende takken.

Een voorbeeld voor AM2:

- *erase verl_am2 deltawet eco_am2 poly*;
- *additem eco_am2.pat ruw_code 4 5 B*;
- *select eco_am2.pat; reselect clust_code = 2; calculate ruw_code = 349; enz. ; reselect eco_code = '' ; calculate ruw_code = 270; reselect eco_code = 'RUK-1'; calculate ruw_code = 397; etc (zie Tabel 5-6);*
- *dropitem eco_am2.pat poly# subclass subclass# rings_ok rings_nok eco_code omschrijvi id med_ws traject clcode98 plan_code randvw blijfaf clust_code code deltah deltahc mv_hgt98 mv_hgt hectares natuur_aan; en*
- *clip ../verlaging/eco_am2 ../grenzen/winbed eco_am2 poly.*

Tabel 5-6 Codering van ruwheidsklassen in BASELINE

clust_code	ruw_code	toelichting
0	270	water (o.b.v. Eco_code ¹ onderscheid gemaakt) onbegroeid (o.b.v. Eco_code ² onderscheid gemaakt)
0	397	
1	n.v.t.	
2	349	
3	260	
4	270	
5	399	
11	396	
12	398	

Bepaalde uiterwaarden worden in aparte 'L&C-alternatieven' ongemoeid gelaten. Dat wil zeggen dat er in deze uiterwaarden geen verlagingen uitgevoerd mogen worden en dat er zodoende geen ecotoopveranderingen (ruwheidsveranderingen) plaatsvinden. Deze uiterwaarden worden in dit document verder L&C-uitwaarden genoemd. Voor de 'L&C-alternatieven' moeten nieuwe ruwheidsbestanden aangemaakt worden door aanpassingen aan de invoerbestanden. De te doorlopen stappen worden in het vervolg van de paragraaf beschreven. Deze stappen volgen op de uitgevoerde stappen voor het aanmaken van de bestanden voor AM1, AM2 en AM3.

Uitgevoerde stappen:

1. haal uit het bestand dat gevormd is voor AM1, AM2 of AM3 de gebieden die overlappen met de L&C-uitwaarden d.m.v. *erase*; en

¹ Eco_code = niet aanwezig

² Eco_code = RUK-1, ROK-1 en RHk-1

2. het hiermee nieuw gevormde bestand bevat de nieuwe ruwheidscoderingen voor de gebieden waar ecotoopveranderingen plaatsvinden waarbij de L&C-uitwaarden ongemoeid blijven.

Een voorbeeld voor AM2:

- *erase ECO_AM2 ../verlaging/lencuitw eco_lenc poly*

De bestanden die gebruikt worden voor het aanmaken van het ruwheidsbestand in baseline zijn:

- het huidige ecotopenbestand (ecoruw);
- het huidige bestand met bomenlanen (laanbepl);
- het huidige bestand met gebouwen (gebouw);
- het huidige bestand met plassen (plassen);
- het huidige bestand met de kribvakken (secties);
- het huidige bestand met het zomerbed (zbedgebr);
- aangepaste ruwheidsbestand met bijzondere k-waarden (eco_am3 / eco_lenc); en
- de huidige hoogwatervrije terreinen (hwwrij en pijlers).

5.5.9 Modelleren van verwijderen van kades

Een groot aantal kades in het Rijntakkengebied heeft geen duidelijke functie of weinig invloed op de stroming. Om een idee te krijgen hoeveel de waterstand zou zakken, zijn alle kades verwijderd, met uitzondering van enkele belangrijke stroomgeleidende kades rondom de splitsingspunten en aansluitingen op kanalen. Deze laatste zijn aangegeven door DON en betreffen:

- Millingendam;
- kade tussen Pannerdensch Kanaal en Waal vanaf het splitsingspunt langs de Klompenwaard en Nicolaaswaard;
- kade bij de Lobberdensch Waard bij de Boven-Rijn en het Pannerdensch Kanaal;
- kade tussen Pannerdensch Kanaal en Groene Rivier;
- kade Gendtse Waard langs de Waal;
- Koningspleij kade langs de IJssel;
- kaden om het Lekkanaal en Merwedekanaal;
- kaden om de monding van het Amsterdam Rijn Kanaal bij de Waal; en
- kaden om de monding van het Amsterdam Rijn Kanaal bij de Lek.

De berekeningen met kades zijn per tak gemaakt en in het ene geval voor alle uiterwaarden en in het andere geval voor alle uiterwaarden behalve L&C uiterwaarden.

6 Hydraulische taakstelling voor Bovenrivieren

6.1 Topvervlakking

Een uitgangspunt van de Spankrachtstudie is het gebruik maken c.q. doorrekenen van maatregelen met een constante / permanente (maatgevende)-afvoer. Rivierkundig gezien kan dit afwijkingen geven ten opzichte van berekeningen die zijn uitgevoerd met een dynamische afvoergolf. Vervlakking van de top van een hoogwatergolf, vaak als functie van zijn afgelegde weg, is een dynamische effect dat niet tot uiting komt bij berekeningen met een permanentie. Dit leidt ertoe dat bij sommen met permanenties veelal hogere waterstanden worden berekend.

De grootte van de topvervlakking is sterk gecorreleerd aan de mate van rivierverruimingen (riviervervijdingen en verdiepingen) en aan de grootte van de afvoer. Daar waar men geïnteresseerd is in de verschillen van twee vrijwel identieke berekeningen (bijvoorbeeld als slechts één knelpunt is verwijderd) dan is het effect van topvervlakking vrijwel niet aan de orde. Immers, door het verschil te nemen van resultaten van twee dynamische sommen worden metterdaad twee (vrijwel) identieke topvervlakkingen van elkaar afgetrokken. Echter, daar waar het verschil wordt genomen van twee permanente sommen met sterk verschillende geometriën en / of sterk verschillende afvoeren dan spelen hier wel degelijk de mate van verschil in topvervlakking, en kunnen de twee permanentiesommen niet zonder meer van elkaar worden afgetrokken zonder het effect in topvervlakking te verdisconteren.

Dit laatste geldt voor de bepaling van de hydraulisch taakstelling. In deze situatie worden de waterstanden verkregen op basis van een permanente afvoer bij respectievelijk 15.000, 16.000 en 18.000 m³/s afgetrokken van de waterstanden bij 15.000 m³/s, afkomstig uit het Randvoorwaardenboek van 1995. Ten eerste speelt hier veelal het verschil in afvoer een rol, maar daarnaast zit er een verschil van orde 15 jaar in de geometrische situatie - een periode waarin veel rivierkundige ingrepen zijn doorgevoerd - die mogelijk nog een sterker verschil in topvervlakking geeft.

Teneinde het effect van het verschil in topvervlakking in rekening te brengen is door RIZA op basis van dynamische WAQUA-sommen de topvervlakking behorend bij de bodemgeometrie van 1997 bepaald. Deze waarden zijn in mindering gebracht op de, ten behoeve van de taakstellingen berekende stationaire, waterstanden.

Opgemerkt wordt dat hier alleen het effect door verschil in bodemgeometrie in rekening is gebracht. Aangenomen is dat het verschil in topvervlakking tussen een afvoer van 15.000 16.000 of 18.000 m³/s aanvaardbaar klein is.

6.2 Boertienruimte

De Commissie Boertien I heeft in 1992 een advies gegeven over de te hanteren maatgevende afvoer bij een veiligheidsniveau van 1/1250. In haar advies kwam tot uiting dat: 'ondanks het feit dat, door (toekomstige) morfologische ontwikkeling, waterstanden bij een dergelijke afvoer lager c.q. gunstiger kunnen uitvallen, dit in de besluitvorming ten behoeve van vereiste waterstandsverlagende maatregelen niet meegewogen mag worden'. Maar meldt de commissie: 'dat dit effect slechts als 'wisselgeld' in de achterzak dient te worden bewaard en dat deze ruimte gereserveerd moet worden om de 'negatieve' effecten van natuurontwikkelingsprojecten te compenseren'.

Per beleidsbeslissing is het waterstandsverschil bij een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s tussen 1981 en 1991, gerealiseerd door morfologische verandering, betiteld als de Boertienruimte. Indien deze Boertienruimte wordt meegenomen in de actuele taakstelling dan betekent dit dat de taakstelling vaak feitelijk lager komt te liggen en mogelijk minder rivierkundige maatregelen nodig zijn c.q. meer maatregelen als natuurvariant kunnen worden doorgevoerd om de taakstelling te verwezenlijken. Immers, natuurvarianten zijn veelal hydraulisch gezien minder effectief door i) de hoge kosten die er mee gemoeid zijn, en ii) het lagere waterstandsverlagend effect als gevolg van een door vegetatie ruwer gebied.

De Boertienruimte is verkregen door het verschil te nemen tussen de dynamische 15.000 m³/s waterstand bij de bodemgeometrie van 1981 en die van 1991 te nemen. Bij alle berekende taakstellingen, waar impliciet de Boertienruimte in verscholen zit, is deze verkregen Boertienruimtwaaarde integraal opgeteld. Dit resulteert in een hogere taakstelling die daalt als gekozen wordt de Boertienruimte mee te nemen.

6.3 Overhoogte van dijken

In het verleden is door wijzigingen in inzichten het veiligheidsniveau aan verandering onderhevig geweest. Dit heeft ook geleid tot een wijziging van de geaccepteerde maatgevende afvoer. Tabel 6-1 geeft een overzicht van deze ontwikkeling.

Tabel 6-1 Ontwikkeling van de maatgevende afvoer in de afgelopen jaren

Jaar	maatgevende afvoer (m ³ /s)
1971	18.000
1986	16.500
1995	15.000
1995	16.050

De hogere maatgevende afvoeren in het verleden hebben ertoe geleid dat op sommige locaties in het Rijntakkengebied de dijken aan de rechter en / of linkeroever reeds hoger zijn aangelegd dan nodig voor het huidige 15.000 m³/s veiligheidsniveau. Naast de hogere veiligheidsniveaus uit het verleden zijn andere verklaringen voor deze dijkoverhoogtes (1) dat er in de zestiger en zeventiger jaren andere uitgangspunten zijn gehanteerd voor het dijkontwerp en (2) dat op sommige locaties aan één of beide zijden hoge gronden aanwezig zijn zoals bijvoorbeeld bij Rheden in de IJssel dat gelegen is langs het Veluwemassief.

50 kg?

In gebieden waar deze dijkoverhoogtes reeds aanwezig zijn kan eerder het nieuw te hantieren veiligheidsniveau worden gehaald als rekening met deze dijkoverhoogten wordt gehouden. Van RIZA is een spreadsheet ontvangen met de huidige dijkoverhoogtes per kilometer aan de linker en rechteroever ten opzichte van de waterstanden uit het Randvoorwaardenboek '95 bij $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (en ook ten opzichte van $16.050 \text{ m}^3/\text{s}$).

Binnen de Blokkendoos kan (afhankelijk van de wens van de gebruiker) rekening worden gehouden met deze dijkoverhoogtes. Door het aanklikken van de optie 'gebruik overhoogtes' wordt de nullijn, waar alle taakstellingen aan zijn gerelateerd, lokaal verhoogd met de waarde van de dijkoverhoogte. Hierdoor wordt het eenvoudiger om met het inzetten van rivierkundige maatregelen de taakstelling te halen.

7 Retentie

In (WL, 2001) is een statistische analyse uitgevoerd van alle hoogwaters in de Rijn met een piekafvoer bij Lobith groter dan 8.000 m³/s. Op basis van de analyse is onder andere een relatie voor het volume van de gemiddelde golfvorm afgeleid:

$$V / Q_{\max} = 1143,5 \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 - 2354,1 \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right) + 1210,3 \quad (1)$$

Waarin:

- Q_{\max} = de piekafvoer (m³/s)
- Q = drempelwaarde (m³/s)
- V = Volume boven drempelwaarde Q (10³ m³)

In bovenstaande formule zijn de resultaten van de hoogwatergolven van 1944 en 1945 niet verwerkt daar zij sterk afwijken van het gedrag van de overige 20 hoogwatergolven.

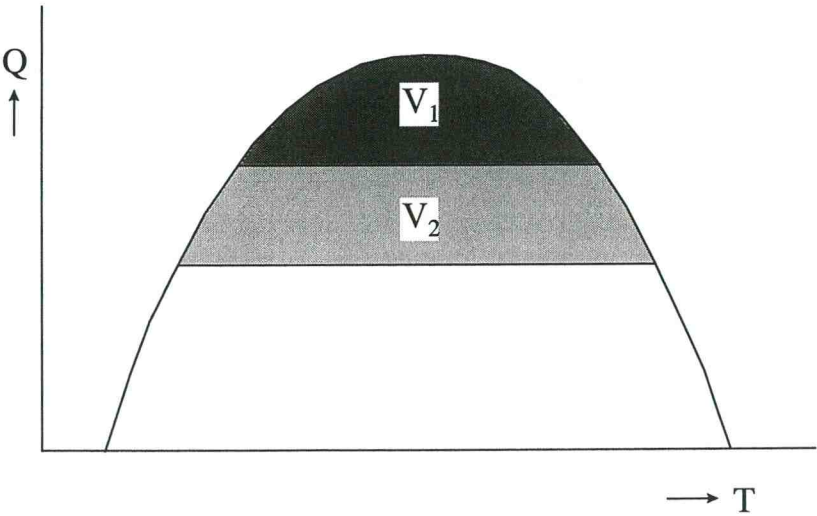
Ter verduidelijking van bovenstaande formule een voorbeeld: Met $Q_{\max} = 16.000$ m³/s en $Q = 15.000$ m³/s volgt voor $V/Q_{\max} = 8.361$ s, zodat een afvoergolf met een piekwaarde van 16.000 m³/s boven het niveau van 15.000 m³/s een gemiddeld volume heeft van $8.361 \times 16.000 = 134$ miljoen m³. Dit betekent dat een retentiebekken langs de Boven-Rijn (bijvoorbeeld het Rijnstrangengebied) een volume van tenminste 134 miljoen m³ moet bevatten om een gemiddelde golf met piekafvoer 16.000 m³/s af te toppen tot 15.000 m³/s.

Voor het berekenen van het MHW-verlagend effect van retentiebekkens langs de Boven-Rijn, Waal, Neder-Rijn/Lek en IJssel is aangenomen dat de gemiddelde golfvorm, zoals beschreven met bovenstaande vergelijking, optreedt. De golfvorm over de Waal, Neder-Rijn/Lek en de IJssel volgt uit herschaling van bovenstaande golfvorm, met een reductiefactor die gebaseerd is op de afvoerverdeling over de Rijntakken.

Tabel 7-1 bevat gegevens van mogelijk in te zetten retentiebekkens langs de Rijntakken. Voor elk mogelijk in te zetten retentiebekken kan met vergelijking (1) bepaald worden in hoeverre het bekken een bijdrage kan leveren aan het aftoppen van een hoogwatergolf. Hierbij wordt in eerste instantie aangenomen dat de retentiebekkens optimaal bestuurd worden, waarbij maximale piekreductie van de afvoergolf als besturingscriterium wordt gehanteerd (zie Figuur 7-1). Vanwege onzekerheden in de afvoervoorspelling zal deze optimale besturing in werkelijkheid nooit helemaal gerealiseerd kunnen worden, en vormt de berekende piekreductie derhalve een bovengrens van de werkelijke piekreductie. Ter compensatie van het feit dat retentiebekkens in werkelijkheid naar alle waarschijnlijkheid niet optimaal effectief benut worden wordt een reductiefactor geïntroduceerd waarmee het beschikbare retentievolume wordt vertaald naar het effectief ingezet retentievolume.

Tabel 7-1 Gegevens van retentiebekkens langs de Rijntakken

retentiebekkens	rivier	oever	kmr	volume (miljoen m ³)
Rijnstrangen + Duivense Broek	Boven-Rijn	R	862,0	269
Rijnstrangen	Boven-Rijn	R	862,0	169
Kamervoor	Waal	R	871,0	285
Ooijpolder groot	Waal	L	874,0	98
Ooijpolder klein	Waal	L	874,0	89
de Smalmorgen	Waal	L	891,0	192
de Steendert	Waal	R	918,0	132
Babyloniënbroek	Waal	L	952,0	187
Kamervoor	Pannerdensch Kanaal	L	873,0	230
Het Binnenveld	Neder-Rijn/Lek	R	907,0	56
de Mars	Neder-Rijn/Lek	L	910,0	33
Rijswijkseveld	Neder-Rijn/Lek	L	928,0	67
Polder Blokhoven	Neder-Rijn/Lek	R	940,0	58
Lage Prijs groot	Neder-Rijn/Lek	L	941,0	251
Lage Prijs klein	Neder-Rijn/Lek	L	941,0	153
Duivense Broek	IJssel	R	884,0	92
Spaensweerd	IJssel	R	913,0	8
Bakerwaard	IJssel	R	917,0	11
Cortenoever	IJssel	L	919,5	3
Overmarch	IJssel	L	929,0	8
Voorsterklei	IJssel	L	930,5	4
Emsterbroek	IJssel	L	950,0	118
Wapenveld	IJssel	L	970,0	27
Zuthermerbroek	IJssel	R	972,0	47
Kampen-Zuid	IJssel	L	992,0	31



Figuur 7-1 Schematische weergave van het aftoppen van een afvoergolf door inschakelen van twee retentiebekkens met een beschikbare capaciteit V_1 en V_2 . Aangenomen is dat de retentiebekkens optimaal bestuurd worden, waarbij maximale piekreductie als besturingscriterium is gehanteerd.

Bij inzet van een serie van retentiebekkens langs een Rijntak is het belangrijk om rekening te houden met het feit dat de effectiviteit van een individueel retentiebekken (uitgedrukt in maximale piekreductie) afneemt naarmate er meer bovenstrooms gelegen retentiebekkens ingezet worden. Bijvoorbeeld in de situatie van Figuur 7-1 wordt het bovenstrooms gelegen retentiebekken met capaciteit V_1 ingezet om het bovenste gedeelte van de afvoergolf af te

toppen. Daardoor wordt het benedenstrooms gelegen retentiebekken met volume V_2 ingezet bij een lagere afvoer. Aangezien in dit lagere bereik de afvoergolf breder is dan in het topgedeelte (zie Figuur 7-1), is de piekreductie die bereikt wordt door inzetten van dit tweede retentiebekken minder groot dan het geval zou zijn als dit bekken als eerste ingezet zou worden.

8 Hydraulische ruwheid bij Aanvullende Maatregelen

8.1 Inleiding

Binnen de Spankrachtstudie worden enkele typen integrale maatregelen doorgerekend. Een daarvan is integrale verdieping van de uiterwaarden; in RvR de 'Aanvullende Maatregelen' genoemd. Onderscheid wordt gemaakt in Aanvullende Maatregel Type 1 (AM1), Type 2 (AM2) en Type 3 (AM3). Rivierkundig gezien wordt het verschil tussen deze drie met name gevonden in de mate van vergraving.

AM2 en AM3 zorgen voor een wezenlijk wijziging van de ectopenverdeling in een uiterwaard. Teneinde de hydraulische effecten van een dergelijke maatregel te kunnen berekenen dient, naast de mate van vergraven, deze ecotopenwijziging te worden ingeschat alsmede de hiermee samenhangende wijziging in hydraulische ruwheid. Het gaat hierbij echter niet alleen om de individuele hydraulische ruwheden van vegetatietypen, maar ook gecombineerde ruwheden, omdat er ook gebieden zullen ontstaan met gemengd bodemgebruik. Met name dit laatste is een lastige zaak. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de grootte van de ruwheid in sterke mate wordt bepaald door de oriëntatie (de wijze van ligging) van vegetatie in een gebied. Deze oriëntatie is natuurlijk moeilijk te voorspellen. Bijvoorbeeld; in een grasland waarin struiken staan is het heel bepalend of de hagen parallel of loodrecht (in serie) op de stroming staan. Dit laatste veroorzaakt veelal een significant hogere ruwheid dan de eerste. Ook zijn tussenvormen denkbaar. Daarnaast zullen bij Aanvullende Maatregelen grote oppervlakken een aantal meters worden afgegraven, waardoor er gebieden zullen ontstaan met open water waarin bijvoorbeeld moerasvegetatie zich zal gaan ontwikkelen. Hiervoor dienen gecombineerde ruwheden te worden bepaald. Het gaat te ver om een nog geaggregeerde inschatting van de locatie van bepaalde vegetaties in te moeten schatten.

Dit hoofdstuk gaat in op de wijze waarop de (gecombineerde) ruwheid van deze afgegraven gebieden kan worden bepaald. Daarnaast worden voor de specifieke maatregelen (AM1, AM2 en AM3) alle voor de WAQUA-berekeningen te gebruiken ruwheden gegeven.

Het hoofdstuk begint met een uiteenzetting over de te verwachten (wijziging in) ecotopenverdelingen nadat aanvullende maatregelen zijn uitgevoerd. Vervolgens wordt een korte uiteenzetting gegeven van de veel gebruikte theorie t.a.v. bepalen van een gecombineerde ruwheid, teneinde voor het project duidelijkheid te geven waarop de gecombineerde ruwheid is gebaseerd. Tenslotte wordt de keuze ten aanzien van de exacte ruwheidswaarde voor verschillende (individuele en gecombineerde) ecotopen besproken.

Tabel 8-1 geeft de in dit hoofdstuk gebruikte symbolen, eenheden en betekenissen.

Tabel 8-1 Gebruikte symbolen, eenheden en betekenis

Symbool	Eenheid	Betekenis
B_i	m	breedte van het beschouwde gebied
C	$m^{1/2}/s$	Chézy-ruwheid
C_d	-	dragcoëfficiënt ($\approx 1,65$)
C_i	$m^{1/2}/s$	Chézy-ruwheid voor lamel i
C_t	$m^{1/2}/s$	Chézy-ruwheid voor het totale beschouwde gebied
D	m	stamdikte
h	m	waterdiepte
h_i	m	waterdiepte in lamel i
i_i	-	verhang over lamel i
i_w	-	verhang over het totale beschouwde gebied
k	m	Nikuradse ruwheid
k_i	m	Nikuradse ruwheid voor lamel i
k_t	m	Nikuradse ruwheid voor het totale beschouwde gebied
k_{parallel}	m	Nikuradse ruwheid voor het totale beschouwde gebied op basis van parallelle schakeling
k_{serie}	m	Nikuradse ruwheid voor het totale beschouwde gebied op basis van serieschakeling
k_1	m	Nikuradse ruwheid van vegetatietype 1
k_2	m	Nikuradse ruwheid van de basisbegroeiing
L_i	m	Lengte voor lamel i
L_t	m	Lengte van het beschouwde gebied
m	$1/m^2$	aantal stammen per m^2
p_i	-	percentage bodemgebruik
Q_t	m^3/s	totale afvoer
Q_i	m^3/s	Afvoer in lamel i
χ	-	Vermenigvuldigingsfactor

8.2 Te verwachten ecotoopverdelingen na aanvullende maatregelen

Inhoud van Aanvullende Maatregelen (AM1, AM2, AM3)

Zoals in de algemene inleiding al komt het verschil tussen de drie aanvullende maatregelen tot uiting in de mate van vergraving. AM1, AM2 en AM3 houden wezenlijk het volgende in:

- AM1 omvat het vergraven van alle uiterwaarden, m.u.v. de eerder genoemde uiterwaarden, tot 60% van de landbouwgebruikswaarde;
- AM2 omvat het afgraven van alle uiterwaarden, m.u.v. de eerder genoemde uiterwaarden, tot standaard natte natuur (ca. 50% van de tijd overstroomd); en
- AM3 houdt verlaging in van alle uiterwaarden tot 60% van de landbouwgebruikswaarde (conform AM1) met uitzondering van de landbouwgronden en de huidige graslanden, die zodanig extra worden vergraven dat er een verhouding 25% open water en 75% grasland ontstaat (lijkt op AM2).

Als gevolg hiervan zullen in de loop van de tijd zich wijzigingen in de ecotopenverdelingen voordoen, hetgeen zal leiden tot wijziging in hydraulische ruwheden van dergelijke

gebieden. De volgende paragraaf gaat in op de wijzigingen die verwacht zullen worden indien AM1, AM2 dan wel AM3 zullen worden uitgevoerd.

Wijziging ecotopenverdelingen

De ectopenverdeling die zich naar grote verwachting zullen gaan ontwikkelen nadat AM1, AM2 dan wel AM3 is toegepast, is naast de grootte van de betreffende ingreep ook afhankelijk van de gebiedslocatie, de overstromingsduur, de waterdiepte, de tijdsduur c.q. tijdstip na aanleg waarop je informatie wilt hebben en andere gebiedsfactoren.

Voor de aanvullende maatregelen worden de volgende ectopenverdelingen c.q. wijzigingen verwacht. Hierbij is er vanuit gegaan dat in de uiterwaarden natuurlijke begrazing aanwezig is.

Bij AM1 alternatief wordt er vanuit gegaan dat alleen de bodemligging wijzigt maar dat de ectopenverdeling in het gebied ongewijzigd blijft. Het maaiveld wordt overal zodanig vergraven dat de huidige ecotopen nog net gehandhaafd zullen blijven c.q. nog net gedijen.

Bij AM2 wordt standaard natte natuur gecreëerd. Dit wil zeggen dat de uiterwaarden zodanig worden vergraven dat bepaalde huidige ecotopen zullen worden wijzigen in een nattere versie, namelijk:

- huidige landbouwgronden en huidige graslanden worden voor de helft omgezet naar open water en blijven voor de helft grasland (combinatie water-gras);
- huidig bos wordt zachthout-ooibos;
- overige natuur wordt moerasruigte;
- open water blijft open water (dus geen vergraving); en
- bebouwd gebied blijft bebouwd gebied.

De gebieden worden zodanig vergraven dat deze ‘nattere’ ectopenversies nog net gedijen.

Bij AM3 wordt een tussenvorm gekozen, omdat AM2 zal zorgen tot (wel) veel open water (natte gebieden). AM3 is dus een minder natte versie van AM2, inhoudende dat:

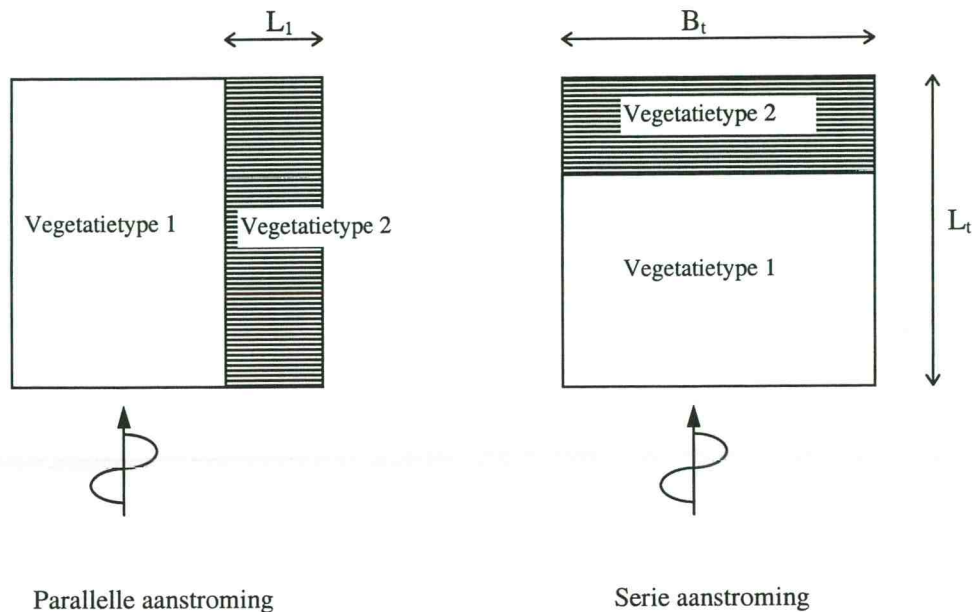
- huidige landbouwgronden en huidige graslanden voor 25% worden omgezet naar open water en voor 75% grasland blijft (combinatie water-gras); en
- Overige ecotopenverdelingen, evenals bij AM1, ongewijzigd blijven.

Bij AM2 en AM3 zullen gebieden ontstaan die een gecombineerde invulling krijgen; bijvoorbeeld huidige landbouwgronden die voor 50% zullen worden omgezet naar open water en voor de andere helft grasland blijven. De exacte indeling van deze gebieden is natuurlijk op voorhand nog niet bekend. Daardoor zullen voor deze gebieden één specifieke ruwheid worden bepaald die de gehele ‘lading’ dekt. Het volgende hoofdstuk gaat in op de wijze waarop deze gecombineerde ruwheid kan worden bepaald.

8.3 Bepaling van gecombineerde ruwheid

Om te kunnen komen tot een gecombineerde ruwheid van meerdere ecotopen tezamen speelt de oriëntatie van die ecotopen gecombineerde ruwheid op de stroming een belang-

rijke rol. Voor gecombineerde vegetaties wordt in eerste instantie een tweedeling aangehouden, de zgn. Serie aanstroming en de zgn. Parallele aanstroming (zie Figuur 8-1).



Figuur 8-1 Schematisatie van parallelle- en serie-oriëntatie

Bij de parallelle aanstroming zal er een duidelijke herverdeling van de stroming plaatsvinden van het ruwere naar het minder ruwe deel. Bij seriëestroming is dit per definitie niet het geval.

Ten behoeve van de bepaling van de gecombineerde ruwheid wordt in het onderstaande de vergelijking voor de parallelle aanstroming en voor de serie aanstroming afgeleid. Vervolgens wordt de wijze besproken waarop deze situaties weer gecombineerd kan worden. Naar aanleiding van deze paragraaf volgt nog een discussie.

Parallele oriëntatie t.o.v. de stroming

De afvoer per vegetatietype (lamel) kan worden geschreven door de Chézy-afvoerformulering:

$$Q_i = B_i \cdot h_i \cdot C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot i_w} \quad (1)$$

De totale afvoer mag gelijk worden gesteld aan de sommatie van alle afzonderlijke debieten, via:

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n B_i \cdot h_i \cdot C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot i_w} \quad (2)$$

Door Q_t weer uit te drukken in de Chézy-formulering en te herschrijven, waarbij wordt aangenomen dat zowel de waterstand (h) als het verhang (i_w) in ieder compartiment aan elkaar gelijk is, wordt de volgende uitdrukking voor de totale ruwheid (C_t) gevonden:

$$C_t = \frac{1}{B_t} \sum_{i=1}^n B_i \cdot C_i \quad (3)$$

Dit mag ook worden geschreven door middel van een percentage:

$$C_t = \sum_{i=1}^n p_i \cdot C_i \quad (4)$$

Waarbij p_i gedefinieerd is als:

$$p_i = \frac{B_i}{B_t} \quad (5)$$

Om de Chézy-coëfficiënt uit te drukken in een Nikuradse k waarde, wordt gebruik gemaakt van de White-Colebrook formulering, die luidt:

$$C = 18 \log \left(\frac{12h}{k} \right) \quad (6)$$

Combinatie van (4) en (6) levert:

$$\log \left(\frac{12h}{k_t} \right) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \left(\frac{12h}{k_i} \right) \quad (7)$$

Dit kan worden herschreven tot een uitdrukking voor de totale ruwheid uitgedrukt in individuele ruwheden per ecotoop k_i (de waterstand en de waterdiepte is nog steeds constant verondersteld):

$$k_t = 10^{\left(\sum_{i=1}^n p_i \log k_i \right)} \quad (8)$$

Serie oriëntatie t.o.v. de stroming

De afvoer per vegetatiedeel kan weer worden geschreven door de Chézy-afvoerformulering:

$$Q_i = B_i \cdot h_i \cdot C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot i_i} \quad (9)$$

Maar nu is de totale afvoer identiek aan iedere afzonderlijke afvoer door ieder compartiment, dus:

$$Q_t = Q_i \quad (10)$$

In wezen ligt hier de aanname in verscholen dat het totale verval gelijk is aan de sommatie van de individuele vervallen voor de afzonderlijke ecotopen (lamellen), hetgeen de volgende uitdrukking oplevert:

$$\Delta h_t = \sum_{i=1}^n \Delta h_i \quad (11)$$

waarbij:

$$\Delta h_t = L \cdot i_w \quad (12)$$

en:

$$\Delta h_i = L_i \cdot i_i$$

Hieruit volgt dat voor een serieschakeling geldt dat:

$$Q_t = B_t \cdot h_t \cdot C_t \cdot \sqrt{h \cdot \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot i_i}{L_t}} \quad (13)$$

Door nu vergelijking (9) in te vullen in vergelijking (13), en aan te nemen dat de waterdiepte voor iedere lamel ongeveer gelijk is (dus $h_i = h_t$) wordt de volgende vergelijking voor C_t verkregen:

$$C_t^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_t} \cdot \frac{1}{C_i^2}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i \cdot \frac{1}{C_i^2}} \quad (14)$$

De aanname dat $h_i = h_t$ behoeft geheel correct te zijn maar er kan worden aangenomen dat de afwijking voor meerdere lamellen wordt genivelleerd.

Met behulp van de White-Colebrook formule (6) kan voor een constante waterdiepte, gegeven de k-waarde per lamel / ecotoop, de Chézy-coëfficiënt (C_i) worden berekend. Vervolgens kan met (14) de totale Chézy-coëfficiënt (C_t) worden bepaald, waarna weer met vergelijking (6) de totale Nikuradse ruwheid k_t kan worden verkregen.

Samengestelde ruwheden voor Aanvullende Maatregelen

Voor het combineren van ruwheden dient een keuze te worden gemaakt tussen een serie groepering, een parallelle groepering of een combinatie (verspreid voorkomend). Een combinatie van serie en parallel zal de werkelijkheid vermoedelijk het dichtst benaderen.

Op voorhand kan niet worden gezegd of vegetaties volledig parallel dan wel serie zullen worden aangestroomd. Daarom is een gemiddelde aanpak voorgesteld, welke luidt:

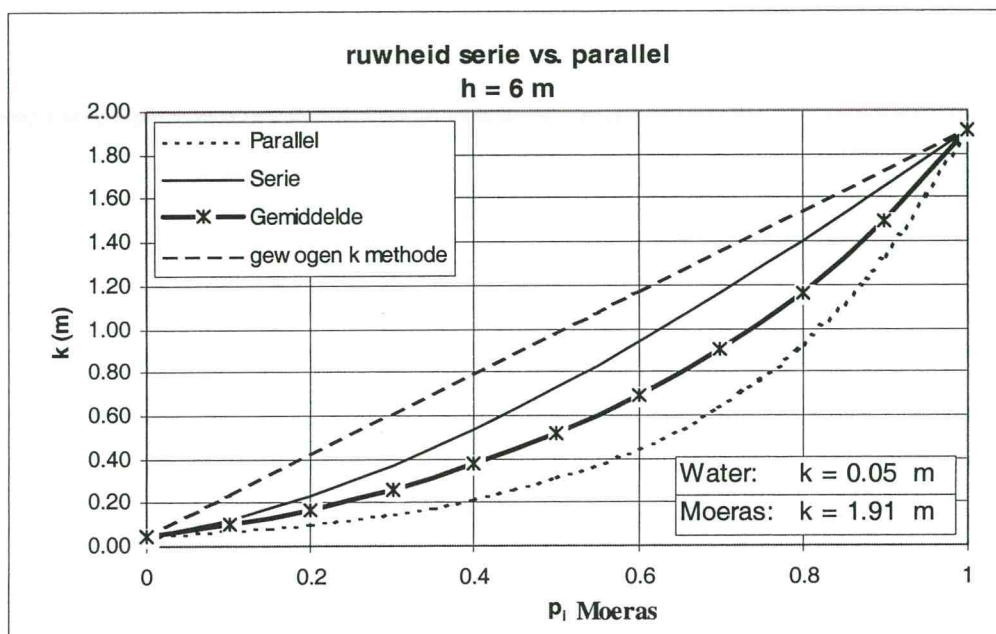
$$k_t = \frac{k_{t_serie} + k_{t_parallel}}{2} \quad (15)$$

Bij DON wordt echter ook wel gebruik gemaakt van de gewogen k-methode, die luidt:

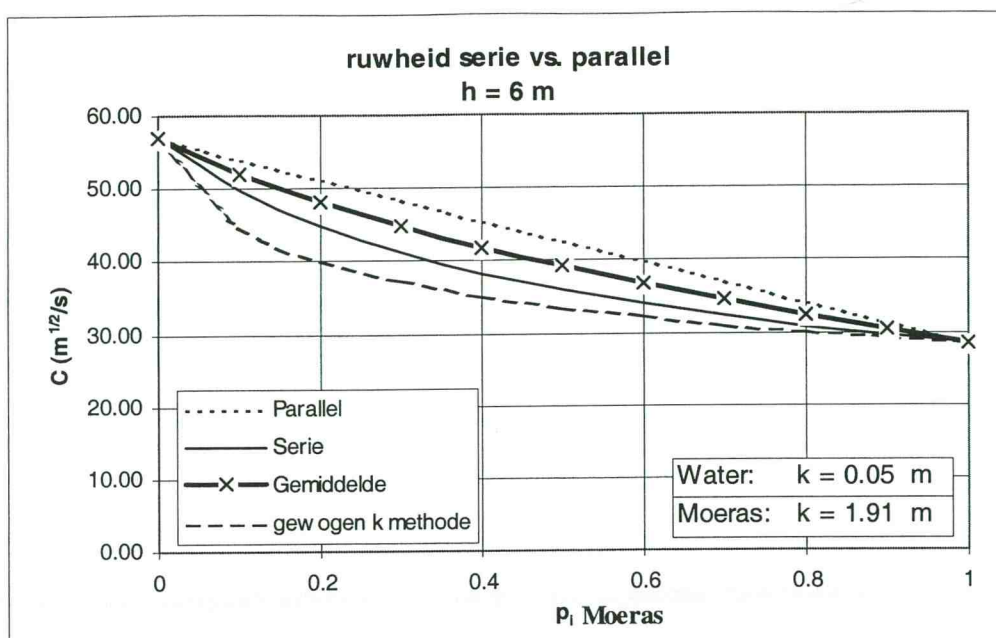
$$k_t = p_i \cdot k_1 + (1 - p_i) \cdot k_2 \quad (16)$$

Deze methode maakt geen gebruik van parallelle- of serieaanstroming, maar werkt simpelweg op basis van het relatieve aandeel van de individuele ruwheden.

Alle vier de methoden (serie, parallel, gemiddeld, en gewogen k) zijn grafisch weergegeven in Figuur 8-2 en Figuur 8-3, waar een combinatie van open water met moerasvegetatie (ruigten) is gekozen bij een waterstand van $h = 6$ m.



Figuur 8-2 Nikuradse ruwheid bij serie schakeling en parallelle schakeling



Figuur 8-3 Chézy ruwheid bij serie schakeling en parallelle schakeling

De gewogen k methode lijkt hier duidelijk de te verwachten ruwheid te overschatten, aangezien de ruwheid ergens tussen de ruwheid van serie en parallel in behoort te zitten. De gemiddelde aanpak lijkt hierdoor de meest geschikt.

Discussie

Van Velzen en Klaassen (1999) hebben bovenstaande methoden naast elkaar gezet en bekeken wat de totale ruwheid dient te worden indien er een tussenvorm bestaat (dus niet volledig parallel of serie) in de situatie van gras bedekt met bomen of struiken. Met WAQUA-berekeningen zijn ook verschillende groeperingen van bomen en struiken in grasland doorgerekend en met elkaar vergeleken, waarbij geconcludeerd werd dat de gewogen k methode vaak goed bruikbaar bleek te zijn. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de afzonderlijke k waarden van de door Van Velzen en Klaassen onderzochte ecotopen sterk uit elkaar lagen (factor > 100). Aangezien dit hier niet het geval is, lijkt de gemiddelde aanpak beter te voldoen dan de gewogen k-methode. Hierdoor lijkt het dat de conclusies van Van Velzen en Klaassen dient te worden genuanceerd.

8.4 Individuele en samengestelde ruwheden

Aan ieder gebied dat als gevolg van de Aanvullende Maatregelen verandert ten aanzien van de ecotopenverdeling dient een nieuwe ruwheid te worden toegekend. Het vorige hoofdstuk is ingegaan op de wijze waarop een gecombineerde ruwheid van meerdere vegetaties kan worden bepaald. Dit hoofdstuk gaat in op deze specifieke ruwheidswaarde voor de verschillende ecotopen en ecotopencombinaties. Als eerste zullen er keuzen worden gemaakt ten aanzien van de individuele ruwheden, daar waar het gaat om gebieden waar slechts één vegetatie wordt verwacht. Daar waar het gaat om samengestelde ruwheden vormen de individuele ruwheden de input voor de berekening.

Voor de individuele ruwheden per ecotoop wordt vastgehouden aan de ruwheden die worden gebruikt in het WAQUA-model voor de Rijntakken. De Ruw.karak-file is een Include-file binnen WAQUA waarin ecotooptypen worden gekoppeld aan een specifieke ruwheid of vegetatiekenmerken. Deze file bestaat uit een x-aantal regels, waarbij een regel er bijvoorbeeld als volgt uitziet:

```
r_code = 3    a = 0.20    c = 1.27368    d = 1.00000 # default k-waarde
```

waarin a de Nikuradse (k) ruwheid voorstelt en c een daarop toe te passen vermenigvuldigingsfactor c.q. ijkfactor. Afhankelijk van de waarde van de r_code wordt binnen WAQUA een bepaalde vergelijking gekozen om de Chézy ruwheid te berekeningen. Dit is van belang omdat voor bepaalde vegetatietypen ‘betere’ vergelijkingen voorhanden zijn. Dit heeft als resultaat dat voor bepaalde vegetatietypen c.q. r_codes niet altijd specifieke Nikuradse ruwheden staan, maar soms alleen de kenmerkende vegetatielengten of aangestroomde oppervlakten, omdat de gehanteerde formule van deze waarden gebruik maakt. Tabel 8-2 geeft een uitleg over de formules die binnen WAQUA wordt gebruikt voor de verschillende r_codes en de hierbij behorende betekenis van de factoren a, b, c en d (EDS, 2000).

Tabel 8-2 r_code binnen WAQUA met globale beschrijving van formules en betekenis factoren a, b, c en d

r_code	formule voor Chézy	a	b	c	d
1	n.v.t.	geen betekenis	geen betekenis	geen betekenis	geen betekenis
2	n.v.t.	geen betekenis	geen betekenis	geen betekenis	geen betekenis
3	White-Colebrook	default -Nikuradse ruwheid	geen betekenis	Vermenigvuldigingsfactor voor a	Vermenigvuldigingsfactor voor b
4 - 400		Nikuradse ruwheidswaarde	Nikuradse ruwheidswaarde	Vermenigvuldigingsfactor voor a	Vermenigvuldigingsfactor voor b
401 - 700	Van Rijn ruwheidsvoorspeller	factor alfa in de formule voor ruwheid van de hoofdgeul	factor Bèta in de formule voor ruwheid van de hoofdgeul	Vermenigvuldigingsfactor voor a	Vermenigvuldigingsfactor voor b
701 - 950	HKV-formule	hoogte van de vegetatie	de waarde voor de vegetatiedichtheid	Vermenigvuldigingsfactor voor a	Vermenigvuldigingsfactor voor b
951 - 999	struiken-formule	waarde voor de hoogte van struiken	waarde voor de dichtheid van struiken	Vermenigvuldigingsfactor voor a	Vermenigvuldigingsfactor voor b

Hetgeen hierboven staat wil eigenlijk zeggen dat er ook moet worden nagedacht over de r_code die aan de nieuwe vegetaties meegegeven dient te worden, teneinde er zeker van te zijn dat binnen de WAQUA de juiste formules t.a.v. de ruwheid worden aangesproken.

Individuele ruwheden voor Aanvullende Maatregelen

De wijzigingen die de Aanvullende Maatregelen met zich mee brengen wordt mede uitgedrukt in een wijziging van de hydraulische ruwheid. De ‘nieuwe’ individuele ecotopen die gaan ontstaan nadat AM2 of AM3 zijn uitgevoerd (AM1 heeft in principe geen wijziging in ecotopenverdeling tot gevolg) staan vermeld in Tabel 8-3. In deze tabel zijn de bijbehorende r_codes alsmede bijbehorende ruwheden of vegetatiekenmerken toegevoegd. In de tabel zijn staan ook ijkfactoren vermeld, waar de Nikuradse ruwheid binnen WAQUA mee vermenigvuldigd wordt. De in de tabel getoonde ruwheden zijn ontleend aan de ruwheden die zijn voorgeschreven in de ruw.karak file van het WAQUA-model van de

Rijntakken (juni 2001). De hierin voorkomende ruwheden zijn deels verkregen op basis van ijking en deels op basis van de in de literatuur vermelde waarden.

Tabel 8-3 Voorgestelde Nikuradse k-waarden van individuele ecotopen

Ecotoopcluster	R_code	Nikuradse k-waarde (m) of vegetatiekenmerken	IJkfactor	Ruw.karak naam
grasland	26	0.5	1.27368	normaal grasland
zachthout ooibos	711	h=10 m, md=0,05 m²	-	dicht bos
moerasruigte	36	1.5	1.27368	open ruigte
open water	11	0,05	1	plassen

Ten eerste wordt opgemerkt dat voor bossen (r_code tussen 701 - 950) in de ruw.karak file niet een Nikuradse k-waarde wordt opgegeven maar vegetatiekenmerken (een hoogte (a-waarde) en een aangestroomd oppervlak (b-waarde)) die door WAQUA worden herberekend tot een Chézy-ruwheid, door middel van:

$$C = \chi \sqrt{\frac{2 \cdot g}{C_D \cdot m \cdot D \cdot h}}$$

(17)

indien het doorstroomde vegetatie betreft. Deze manier is binnen WAQUA de meest juiste methode om de tot de ruwheid van bomen c.q. bossen te komen. Eenzelfde aanpak is voor het zachthout ooibos binnen AM2 aangehouden.

Ten tweede wordt opgemerkt dat aan bebouwde gebieden geen ruwheid wordt meegegeven. Deze gebieden worden simpelweg in mindering gebracht op het stroomvoerend oppervlak

Samengestelde ruwheden voor Aanvullende Maatregelen

Voor vergraven van landbouwgronden en graslanden tot 50% natuurlijk grasland en 50% open water in het geval van AM2 of tot 75% natuurlijk grasland en 25% open water in het geval van AM3 dient een gecombineerde ruwheid te worden bepaald. De wijze waarop dit geschiedt staat beschreven in hoofdstuk 2. Het bepalen van deze gecombineerde ruwheid vereist wel dat ruwheid van de individuele ectopencomponenten bekend is. Deze worden ontleend aan Tabel 8-3. Bovenstaande heeft geleid tot de in Tabel 8-4 beschreven samengestelde ruwheden.

Tabel 8-4 Nikuradse k-waarden voor samengestelde ecotopen

Samengestelde Ecotoopclusters	verhouding in %	k-serie	k-parallel	samengestelde Nikuradse k-waarde
water - gras	50 - 50	0,27	0,18	0,22
water - gras	25 - 75	0.44	0.34	0.39

Ruw.karak aanpassing

Het voorgaande heeft voor de Aanvullende Maatregelen geleid tot een uitbreiding van de Ruw.karak file met:

r_code = 260	a = 1.5	c = 1.27368	d = 1 # moerasruigte
r_code = 270	a = 0.05	c = 1	d = 1 # open water
r_code = 396	a = 0,39	c = 1	d = 1 # combinatie water(25)-gras(75)_AM3
r_code = 397	a = 0.2	c = 1.27368	d = 1 # default-waarde - onbegroeid
r_code = 398	a = 0,22	c = 1	d = 1 # combinatie water(50)-gras(50)_AM2
r_code = 399	a = 5	c = 1	d = 1 # dorp - bebouwd gebied
r_code = 949	a = 10	b = 0.05 c = 1	d = 1 # zachthout ooibos

Opgemerkt wordt dat ten behoeve van AM2 en AM3 zijn nieuw r-codes aangemaakt. Alle vergraven gebieden hebben door Baseline een andere (unieke) ruwheidscode toegewezen gekregen.

8.5 Aanvullende opmerkingen

Na controle van de ruwheidsbestanden van AM1, AM2 en AM3 bleek AM3 niet correct te zijn aangemaakt.

AM3 houdt in: een verlaging van alle uiterwaarden tot 60% van de landbouwgebruikswaarde (conform AM1) met uitzondering van de landbouwgronden en de huidige graslanden, die zodanig extra worden vergraven dat er een verhouding 25% open water en 75% grasland ontstaat (lijkt op AM2). Dit houdt in dat de ruwheidscodes van AM3 in de area-u en de area-v files onder WAQUA overeen dienen komen met de ruwheidscodes van AM1 (dus geen wijziging van de ruwheidscodes per areaal in deze gebieden), met uitzondering van de vergraven landbouwgronden en de huidige graslanden. Dit laatste blijkt niet het geval te zijn. De ruwheidscodes blijken namelijk overeen komen met die van AM2 (veel verschillende ruwheidscodes zijn in één ruwheidscode samengegaan), terwijl de bodem over het algemeen wel overeenkomt met AM1. Bovenstaande is niet eenvoudig handmatig terug verhelpen en vereist in principe een nieuwe Baselineberekening. In verband met capaciteit was dit niet mogelijk.

Bovenstaand is besproken met de opdrachtgever (ir. W. Silva), en is voorgesteld voorgesteld toch AM3 zoals het thans ligt op te starten en gebruik te maken van een gemiddelde ruwheidswaarden voor de verschillende ruwheidscodes, waarna het volgende is uitgevoerd:

- ruwheidscode 349 (949)

Gebieden met ruwheidscodes 711, 701 en 716 zijn voor een groot aantal uiterwaarden omgezet naar ruwheidscode 349 (hetgeen niet had mogen gebeuren). De ruwheid van 701, 701 en 716 wordt bepaald op basis van de hoogte van de vegetatie en het aangestroomd oppervlak:

r_code = 701	a = 10	b = 0.005	c = 1	d = 1 # open bos
r_code = 711	a = 10	b = 0.05	c = 1	d = 1 # dicht bos
r_code = 716	a = 4	b = 0.1	c = 1	d = 1 # struwelen

Aangenomen is dat bovenstaande vegetaties bij MHW alle boven het wateroppervlak uitsteken, waardoor alleen het aangestroomd oppervlak als variërende parameter overblijft.

Gekozen is hiervoor het gemiddelde aangestroomd oppervlak van alle drie de vegetaties te nemen, hetgeen heeft geleid tot:

$r_code = 949$ $a = 10$ $b = 0.05$ $c = 1$ $d = 1$ # zachthout ooibos

(NB. ruwheidscode 349 wordt in de area-u en area-v-files naar ruwheidscode 949 omgezet, om er voor te zorgen dat de gewenste formule wordt gebruikt)

- ruwheidscode 260

Gebieden met ruwheidscode 36 zijn omgezet naar ruwheidscode 260. Aangezien het slechts één ruwheidscode betreft is het 'gemiddelde' snel gevonden: de ruwheid van code 260 blijft gelijk aan die van 36:

$r_code = 260$ $a = 1.5$ $c = 1.27368$ $d = 1$ # moerasruigte

- ruwheidscode 270

Gebieden met ruwheidscodes 11, 21, 31, en 36 zijn alle vervangen door ruwheidscode 270. Gekozen is het gewogen gemiddelde van bovenstaande ruwheidscodes te nemen, aangenomen dat alle vier de ruwheidscode evenredig zijn verdeeld, hetgeen heeft geleid tot:

$r_code = 270$ $a = 0.88$ $c = 1$ $d = 1$ # 'gewogen' gemiddelde van ruwcode 21, 11, 31 en 36

Literatuur

Mosselman E., et. al., 2001. Nadere uitwerking dijkverlegging Nijmegen, WL-project Q2855. Januari 2001

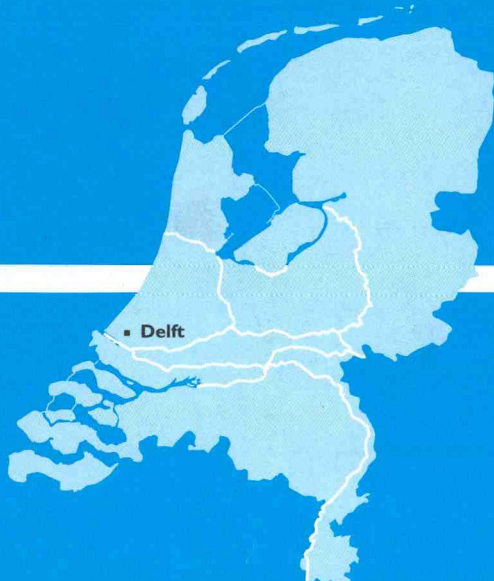
Klijn F. et.al., 2001. Groene rivieren: mogelijkheden voor toepassing; een handreiking. (verschijnt eind 2001)

Wijbenga, J.H.A. (1985), Determination of flow patterns in rivers with curvilinear coordinates. Proceedings of XX1 congress of the International Association for Hydraulic Research, Melbourne, Australia, Aug. 19-23, 1985

WL, 2001. Effectiviteit van retentie langs de Rijntakken. WL-project R3294.66. Delft, mei 2001.

Velzen, E.H. van en G.J. Klaassen (1999), Verspreide en aaneengesloten gebieden met begroeiing; studie naar het effect van begroeiingspatronen, Rijkswaterstaat RIZA, werkdocument 99.193x.

EDS (2000), User Guide WAQPRE, versie oktober 2000, pagina 36 - 40, Leidschendam, Copyright ministry of Transport, Public Works and Water Management.



WL | Delft Hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

