

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA

Spankrachtstudie deelrapport 1
Kader hydraulische analyse
bovenrivierengebied

Verslag

april 2002

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA

Spankrachtstudie deelrapport 1 Kader hydraulische analyse bovenrivierengebied

Gelieve als volgt naar het voorliggende rapport te verwijzen:

WL en RIZA (2002). Spankrachtstudie, deelrapport 1. Kader hydraulische analyse bovenrivierengebied. Project Q2975. Delft, april 2002.

Verslag

april 2002

Voorwoord

Het voorliggende rapport maakt onderdeel uit van de rapportage over het rivierkundig onderzoek dat is uitgevoerd in het kader van de Spankrachtstudie. Deze studie bestudeert de mogelijke stijging van de hoogwaterstanden langs de Rijntakken en in het Noordelijk Deltabekken op de lange termijn (globaal het jaar 2100), en beschouwt de mogelijkheden om dijkverhogingen zo veel als mogelijk te vermijden door de inzet van rivierverruimende maatregelen. De gebruikte randvoorwaarden zijn: een Rijnafvoer van 18.000 m³/s, een Maasafvoer van 4.600 m³/s, een zeespiegelstijging van 0,6 m en de handhaving van de huidige veiligheidsniveau's tegen overstromingen.

De rapportage is opgesteld door WL en HKV Lijn in water. Op bepaalde punten zijn omwille van de volledigheid tekstbijdragen van de zijde van RIZA opgenomen. De gerapporteerde werkzaamheden zijn vastgelegd in de overeenkomsten RI-3431, RI-3467 en RI-3423

De rapportage bestaat uit elf delen, te weten:

- Rapport 1: Kader hydraulische analyse bovenrivierengebied
- Rapport 2: Kader hydraulische analyse benedenrivierengebied
- Rapport 3: Hydraulische effecten van maatregelen bovenrivierengebied
- Rapport 4: Hydraulische effecten van maatregelen benedenrivierengebied
- Rapport 5: Kosten en overige effecten van maatregelen in boven- en benedenrivierengebied
- Rapport 6: Nadere analyses en verdiepingsslagen in het benedenrivierengebied
- Rapport 7: Overige onderwerpen bovenrivierengebied
- Rapport 8: Overige onderwerpen benedenrivierengebied
- Rapport 9: Blokkendoos Spankrachtstudie
- Rapport 10: Rekeninstrumenten voor het benedenrivierengebied
- Rapport 11: Groene rivieren: mogelijkheden voor toepassing, een handreiking

Het voorliggende rapport is deelrapport 1, waarin het kader wordt beschreven van de hydraulische analyse die is uitgevoerd voor het bovenrivierengebied.

Naast deze rapporten is een CD verschenen met daarop de zogenaamde Blokkendoos.

De Blokkendoos bevat voor maatregelen in het boven- en benedenrivierengebied per maatregel 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 doet de gebruiker impliciet een keuze over de afvoerverdeling op de Pannerdensche Kop en de IJsselkop).

Inhoud

1	Inleiding	1-1
2	Methode hydraulische analyse BOR-gebied	2-1
3	Uitgangssituatie.....	3-1
4	WAQUA-instrumentarium	4-1
4.1	Referentiesituatie en uitgangspunten.....	4-1
4.2	Deelmodellen voor de Rijntakken	4-2
4.3	Randvoorwaarden voor het WAQUA-model.....	4-3
4.4	Methode berekeningen IJsseldelta.....	4-4
4.5	Rekenrooster WAQUA	4-7
4.6	BASELINE-modellering van maatregelen	4-14
4.6.2	Modellering van autonome ontwikkelingen	4-14
4.6.3	Modellering van buitendijkse maatregelen.....	4-16
4.6.4	Modellering van dijkverleggingen.....	4-16
4.6.5	Modellering van groene rivieren	4-16
4.6.6	Modellering van retentie.....	4-17
4.6.7	Modellering van laterale onttrekkingen.....	4-17
4.6.8	Modellering van Aanvullende Maatregelen	4-18
4.6.9	Modellering van verwijderen van kades.....	4-23
5	Hydraulische taakstelling.....	5-1
5.1	Definitie van hydraulische taakstelling	5-1
5.2	Randvoorwaarden	5-2
5.3	Resultaten hydraulische taakstelling bovenrivieren	5-3
5.3.1	Hydraulische taakstelling Waal	5-3
5.3.2	Hydraulische taakstelling Neder-Rijn / Lek	5-4
5.3.3	Hydraulische taakstelling IJssel.....	5-5
5.3.4	Hydraulische taakstelling Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal	5-6
5.3.5	Hydraulische taakstelling IJsseldelta.....	5-9
5.4	Topvervlakking	5-12

5.5	Boertienruimte	5-15
6	Zijdelingse toestroming	6-1
6.1	Inleiding	6-1
6.2	Uitwerking	6-1
6.3	Bepaling keuze	6-4
7	Overhoogte van dijken in het BOR-gebied	7-1
8	Retentie	8-1
9	Hydraulische ruwheden bij Aanvullende Maatregelen	9-1
9.1	Inleiding	9-1
9.2	Ecotoopverdeling bij aanvullende maatregelen	9-2
9.3	Bepaling van gecombineerde ruwheid	9-3
9.4	Individuele en samengestelde ruwheden	9-8
9.5	Aanvullende opmerkingen	9-11
10	Het combineren van WAQUA-schematisaties	10-1
10.1	Inleiding	10-1
10.2	BASELINE-tool	10-1
10.3	WAQUA-combinatietool	10-2
10.4	Het UNIX-batchprogramma 'CREATEWAQ.RUN'	10-6
10.5	Het UNIX-batchprogramma 'RUNOPSUN.RUN'	10-8
10.6	Conclusies	10-8
11	Bijzonderheden bij de modellering van de Pannerdensche Overlaat	11-1
12	Archivering van digitale bestanden	12-1

I Inleiding

Doel van dit rapport

In het kader van de Spankrachtstudie wordt een groot aantal mogelijke maatregelen bestudeerd. Voor de bepaling van hydraulische effecten in het bovenrivierengebied (BOR-gebied) worden de 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;
- kleinschalige en grootschalige dijkverleggingen;
- groene rivieren;
- retentie;
- integrale maatregelen: aanvullende maatregelen in de uiterwaarden, 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 voor het BOR-gebied, 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 deelrapport 3.

Hoofdstuk 2 schetst in enkele grote lijnen de hydraulische analyse voor het BOR-gebied.

Hoofdstuk 3 beschrijft beknopt de uitgangssituatie.

In hoofdstuk 4 komen alle aspecten met betrekking tot het WAQUA-instrumentarium en het rooster aan de orde, alsmede de wijze waarop maatregelen zijn geschematiseerd met BASELINE.

Hoofdstuk 5 laat zien welke methode gebruikt is om de hydraulische taakstelling in het BOR-gebied te bepalen en wat daarvan de resultaten zijn. Ook worden topvervlakking en Boertienruimte besproken.

Hoofdstuk 6 geeft een gedetailleerde beschrijving van de wijze waarop de (toename in) de zijdelingse toestroming is behandeld.

Hoofdstuk 7 beschrijft de bestaande overhoogte van dijken in het BOR-gebied.

Hoofdstuk 8 gaat in op het effect van retentie op rivierafvoeren en hoe dit berekend is voor de Spankrachtstudie.

Hoofdstuk 9 bespreekt de hydraulische ruwheid bij aanvullende maatregelen.

Hoofdstuk 10 beschrijft hoe WAQUA-schematisaties van afzonderlijke maatregelen in de Spankrachtstudie kunnen worden gecombineerd tot een model met meerdere maatregelen. De ontwikkeling van deze tool blijkt een belangrijke efficiëntieslag mogelijk te maken in het dagelijks gebruik van WAQUA.

Tenslotte beschrijft hoofdstuk 11 een bijzonderheid bij de modellering van de Pannerdensch Overlaat en hoofdstuk 12 de wijze waarop de (omvangrijke) digitale bestanden met projectresultaten zijn gearchiveerd.

Medewerkers

De hydraulische analyse (modelontwikkeling, randvoorwaarden en bepaling van de hydraulische taakstelling) is uitgevoerd door ing J.I. Crebas, ir C. Stolker, ir S.A.H. van Schijndel (deelprojectleiding) en dr ir F.X. Suryadi. Voor de GIS-activiteiten waren drs M. Ververs en R. van Buren betrokken bij het project.

De analyse van de zijdelingse toestroming is uitgevoerd en gerapporteerd door ing R. van der Veen (RIZA). Dr ir F.L.M. Diermanse verzorgde de analyse van retentiebekkens. De overhoogte van dijken is geanalyseerd door ir C. Stolker.

Het aanpassen van het rekenrooster is uitgevoerd onder leiding van ir C. Stolker. Ir L.J.M. Hulsen heeft zorg gedragen voor het uitvoeren van de feitelijke aanpassingen. 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 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 eveneens in handen van ir C. Stolker. De feitelijke instrumenten zijn ontwikkeld door Meander Advies en Onderzoek, in de persoon van drs R. Agtersloot. 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.

2 Methode hydraulische analyse BOR-gebied

In de Spankrachtstudie wordt de hydraulische analyse voor het BOR-gebied uitgevoerd met BASELINE en WAQUA. Het genereren van de figuren die de hydraulische analyse samenvatten gebeurt automatisch met MATLAB. Gezien het grote aantal door te rekenen maatregelen en gezien de rekentijden van BASELINE (versie 3.0) is het niet wenselijk om voor iedere maatregel met BASELINE een aparte WAQUA-schematisatie te generen. Daarom is een instrument ontwikkeld dat op basis van een referentie WAQUA-schematisatie en een WAQUA-schematisatie waarin een aantal (veel) maatregelen is opgenomen een nieuwe schematisatie kan genereren met slechts één maatregel.

Voorwaarde voor deze methode is dat maatregelen elkaar niet ruimtelijk overlappen. Omdat een dergelijke overlap tussen alternatieve maatregelen veelvuldig voorkomt is een tweetal WAQUA-schematisaties gegenereerd waarin tezamen alle maatregelen zijn verwerkt. Een afzonderlijke maatregel is dus in één van beide WAQUA-schematisaties gemodelleerd. 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, waar twee berekeningen voor de screening van een maatregel worden uitgevoerd: één bij een hoog meerpeil, en één bij een hoge IJsselafvoer (zie paragraaf 4.4). Door vergelijking met de referentiesituatie wordt vervolgens het hydraulisch effect van een afzonderlijke maatregelen bepaald.

Van iedere berekening zijn de volgende figuren in het projectarchief opgenomen:

- 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. Tevens wordt een ASCII-bestand gegenereerd dat voor iedere 100 m de waterstand geeft en het verschil met de referentiesituatie.

Uiteindelijk worden de resultaten van de berekeningen opgenomen in de Blokkendoos, die nader wordt besproken in deelrapport 9.

3 Uitgangssituatie

Vanzelfsprekend dient de rivierkundige uitgangssituatie (referentiesituatie) scherp te worden gedefinieerd. Deze uitgangssituatie vormt de basis waarmee andere berekeningen worden vergeleken en is het vertrekpunt voor rivierkundige uitbreidingen of aanpassingen. In de Spankrachtstudie is voor de uitgangssituatie de situatie van 2001 gekozen. Effecten van (combinaties van) maatregelen, in termen van waterstanden maar ook areaal natuur en kosten, worden met die situatie vergeleken.

Naast een referentiesituatie is 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 van groot belang om beide situaties goed te kennen; enerzijds om tot een correcte effectenbepaling 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 (HR2001). Deze modelschematisatie is gekalibreerd met meetgegevens van het hoogwater van 1995 en geverifieerd met informatie over het hoogwater van 1993. Deze schematisatie dient in het kader van de voorliggende studie zó te worden uitgebreid dat aan de eisen van referentie- en autonome situatie wordt voldaan.

De schematisatie die voor HR2001 is gebruikt is gebaseerd op de situatie van 1997 voor wat betreft de schematisatie van de riviergeometrie en het bodemgebruik. Deze schematisatie bevatte onder andere de verlaagde Millingendam en elf natuurontwikkelingsprojecten. Verleende vergunningen voorzien in de mogelijkheid veelal hoogwatervrije 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). Bij het berekenen van het waterstandseffect van rivierverruimende maatregelen zijn (als bij het opstellen van HR2001) de vergunningen rond met name de Pannerdensche Kop en IJsselkop meegenomen. Opgemerkt wordt dat dit mogelijk niet precies 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 HR2001, 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 3-1 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 HR2001 zijn meegenomen.

Tabel 3-1 Maatregelen die in het Randvoorwaardenboek, Referentiesituatie en Autonome situatie zijn c.q. dienen te worden opgenomen.

Randvoorwaardenboek (2001)	Referentiesituatie (2001)	Autonome situatie (2005)
Vergunningen:	<i>Randvoorwaardenboek (2001)</i>	<i>Randvoorwaardenboek (2001)</i>
<ul style="list-style-type: none"> Klompenwaard Waaier van Geulen Schipperwaard Steenwaard Goilberdinger waard Stichtse Rijnlanden Duursche waarden 	+	+
Verlaagde Millingendam	Bakenhof Stuweiland Driel	<i>Referentiesituatie (2001)</i> + Nijmegen (Veur - Lent) Hondsbroeksche Pleij Lexkesveer Spoorbrug Oosterbeek

Ten aanzien van de Vergunningen geeft Tabel 3-2 meer informatie.

Tabel 3-2 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	(veerstoep Welsum)
	R	NL	969.5	970.5	Stichtse Rijnlanden	
	L	NL	941	945	Goilberdingenwaard	
	R	IJ	958	965	Duursche Waarden	

In mei 2001 is RWS-DON en RIZA schriftelijk verzocht bovenstaande tabellen aan te vullen. Door het uitblijven van reacties en de noodzaak door te gaan met de studie is in overleg met RIZA besloten met het huidige WAQUA model (HR2001) 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 weten bij gebruik van de Blokkendoos) te kunnen kiezen welke maatregelen wel en welke niet in de referentiesituatie meegenomen worden.

4 WAQUA-instrumentarium

4.1 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 de standaard-omgeving, 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 waterstanden voor HR2001 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 het hoofdstuk 3 van het voorliggende rapport.

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 in paragraaf 4.5 beschreven.

Het hydraulisch effect van de maatregelen wordt bepaald bij een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith. Dit komt overeen met de nieuwe maatgevende Rijnaafvoer. Er wordt in de 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 deelrapport 9 nader besproken.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 van het voorliggende rapport is ervoor gekozen om twee nieuwe WAQUA-schematisaties te genereren, die samen de modellering van alle te beschouwen maatregelen bevatten. In beide schematisaties zijn dijkverleggingen en groene rivieren opgenomen. Daardoor verschillen de randen van de modellen van elkaar: 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 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 afzonderlijke 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 om het aantal mogelijke combinaties te beperken. Pakketten van maatregelen (opties) die in een latere fase van de Spankrachtstudie zullen worden ontwikkeld om 18.000 m³/s veilig naar zee te voeren zullen met WAQUA als combinatie worden doorgerekend. Om al vroegtijdig in het project 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 beschreven in deelrapport 9.

4.2 Deelmodellen voor de Rijntakken

Voor gebruik in de Spankrachtstudie is het oorspronkelijke Rijntakkenmodel in deelmodellen opgeknipt. De belangrijkste reden hiervoor is dat, evenals in het RvR-project, bij de screening van afzonderlijke maatregelen de debietverdeling over de takken niet mag wijzigen. 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: met het opknippen ontstaat de nodige ruimte in het rooster. 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.

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 m³/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 m³/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 m³/s te Lobith en zijdelingse onttrekkingen voor de Waal op kmr 874 en de Neder-Rijn op kmr 882,5.

De afwezige (afgeknipte) 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 m³/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.

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.

4.3 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 (HR1996) gehandhaafd blijft. Tabel 4-1 geeft de daarbijbehorende debieten in de takken.

Tabel 4-1 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	9.530	63,5	10.165	63,5	11.436	63,5
Pannerdensch Kanaal	5.470	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 behalve voor de IJssel buiten het beheergebied van DON. Tabel 4-2 geeft de topografische locatie weer van de benedenranden van het WAQUA-model en de benedenrand van het beheergebied van DON.

Tabel 4-2 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)	Ketelmeer (kmr 1006)

De benedenstroomse randvoorwaarden voor het WAQUA-model voor de Waal en de Lek volgen uit Q-h-relaties die zijn berekend door RWS met het SOBEK-model voor het Noordelijk Deltabekken, dat wordt gebruikt in de Spankrachtstudie voor het benedenrivierengebied (BER-gebied). Bij het vaststellen van deze randvoorwaarden is rekening gehouden met een zeespiegelrijzing van 0,6 m. Tabel 4-3 toont de waterstanden voor de benedenstroomse randen zoals deze zijn gebruikt voor het bepalen van het effect van maatregelen.

Tabel 4-3 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.

4.4 Methode berekeningen IJsseldelta

In de eerste fase van de Spankrachtstudie (tot oktober 2001) is de IJsseldelta op dezelfde wijze beschouwd als de IJssel. Gezien de stormcondities op het IJsselmeer, die mede bepalend zijn voor maatgevende waterstanden in dit gebied, en gezien het hogere veiligheidsniveau in dit gebied ten opzichte van de IJssel (1/2000 ten opzichte van 1/1250) was bekend dat dit in feite niet correct is. Helaas kon een methode hoe voor dit gebied de effecten te bepalen niet tijdig door RWS ter beschikking worden gesteld. In de eerste fase is het waterstandseffect van maatregelen in de IJsseldelta daarom op een provisorische wijze bepaald: met alleen een vaste waterstand op het IJsselmeer en een vaste afvoer op de IJssel.

Met het beschikbaar komen van de zogenaamde methode Hartman / Westphal is het mogelijk geworden om het waterstandseffect van maatregelen in de IJsseldelta beter te bepalen. De methode bestaat er in essentie uit dat (conform de werkwijze die wordt aangehouden bij het bepalen van de hydraulische taakstelling voor de IJsseldelta, zie paragraaf 5.3.5) na schematisering in BASELINE voor elke maatregelen in de IJsseldelta twee stationaire WAQUA-berekeningen worden uitgevoerd: één voor een stormconditie met een hoge IJsselmeerstand en een 1/1 per jaar rivierafvoer; en één voor hoogwateromstandigheden met een gemiddeld toekomstig IJsselmeerpeil en een hoge rivierafvoer.

In de bovenstroomse delen van het Rijntakkengebied domineert de afvoer de waterstanden. Via de overgangsgebieden gaan Waal en Neder-Rijn/Lek over in het BER-gebied en gaat de IJssel over in het IJsselmeergebied. Hier bepaalt een combinatie van de rivierafvoer met meer- of zeepeil de waterstanden. Het veiligheidsniveau in de overgangsgebieden ligt tussen dat van rivier en meer of zee. Voor de IJssel heet het overgangsgebied de IJsseldelta en wordt een veiligheidsniveau van 1/2000 aangehouden. Bij Hattem (kmr 974) begint de eerste dijkkring met dit veiligheidsniveau. Voor de Spankrachtstudie betekent dit dat voor de berekening van het waterstandseffect van maatregelen in de IJsseldelta - als bij de berekening van de hydraulische taakstelling - vanaf deze kilometer de berekeningen op onderstaande wijze wordt uitgevoerd.

Voor het bepalen van de waterstanden in de IJsseldelta worden twee belastingsgevallen gecombineerd:

1. *belastingsgeval Q*: een extreme IJsselafoer (1/2000 per jaar) gecombineerd met een waterstand op het Ketelmeer met een overschrijdingsfrequentie van één keer per jaar (1/1 per jaar); en
2. *belastingsgeval H*: een IJsselafoer (frequentie 1/1 per jaar) gecombineerd met een extreme waterstand op het Ketelmeer (1/2000 per jaar).

Deze twee berekeningen leveren twee waterstandslijnen op die elkaar in de omgeving van Kampen (kmr. 995) kruisen. Voor het bepalen van de officiële MHW-waterstanden worden met behulp van een wegingsprocedure beide lijnen gecombineerd tot één waterstandslijn met een kans van overschrijden van 1/2000 per jaar. Omdat in de Spankrachtstudie het effect van maatregelen wordt gepresenteerd als een waterstandsverschil (en niet in absolute waterstanden) is de wegingsprocedure achterwege gelaten, en is het maximum van genoemde berekeningen gekozen om de nieuwe waterstandslijn vast te stellen.

Bij het bepalen van de randvoorwaarden voor de berekeningen in de IJsseldelta is uitgegaan van een zeespiegelrijzing van 0,60 m. Tevens is rekening gehouden met de voorgenomen uitbreiding van het spuicomplex in de Afsluitdijk. De randvoorwaarden zijn bepaald in de IJsselmond bij het Kattendiep. Omdat in WAQUA geen wind is meegenomen mogen deze waterstanden ook worden toegepast voor de rand van het WAQUA-model bij kmr 1006. Het verhang over deze afstand is vanwege het grote dwarsprofiel van het Ketelmeer klein.

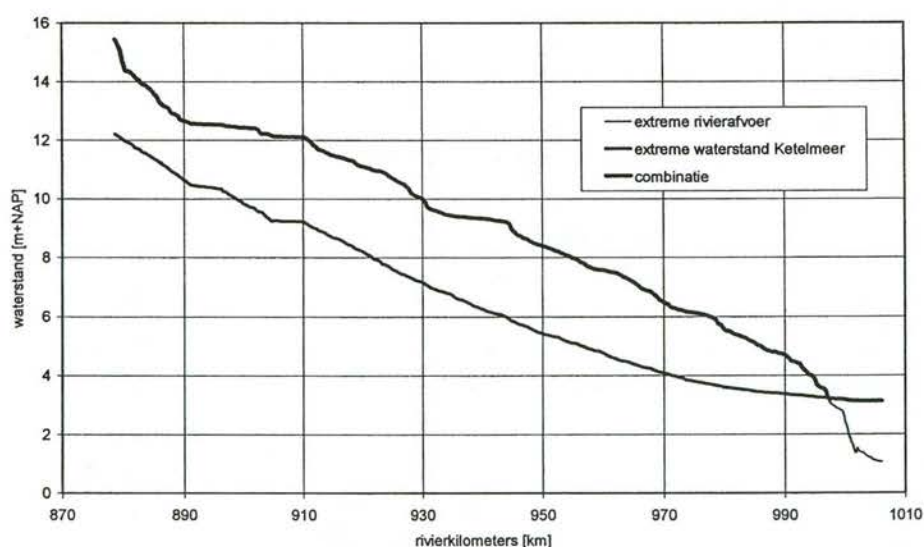
Het principe van de aanpak voor het berekenen van hydraulische effecten van maatregelen is gelijk aan dat van de taakstelling (zie paragraaf 5.3.5). Voor het bepalen van de hydraulische effecten is de nieuwe maatgevende afvoer bij Lobith, behorend bij een veiligheidsniveau van 1/1250, bepalend ($16.000 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit resulteert in een afvoer van $2.555 \text{ m}^3/\text{s}$ op de IJsselkop bij een veiligheidsniveau van 1/2000. De randvoorwaarden voor de berekening voor de extreme waterstand op het Ketelmeer blijven gelijk aan die in de taakstelling. Tabel 4-4 toont de randvoorwaarden voor de berekeningen.

Tabel 4-4 Randvoorwaarden voor de berekeningen van de effecten van maatregelen IJsseldelta

belastinggeval	afvoer IJsselkop [m^3/s]	waterstand Ketelmeer [m + NAP]
extreme rivierafvoer	2.555	1,61
extreme waterstand Ketelmeer	874	3,13

De berekeningen voor maatregelen worden op het nieuwe rooster gemaakt en de zijdelingse toestromingen zijn niet meegenomen. De windopzet die moet worden toegepast in de taakstelling is hier niet relevant.

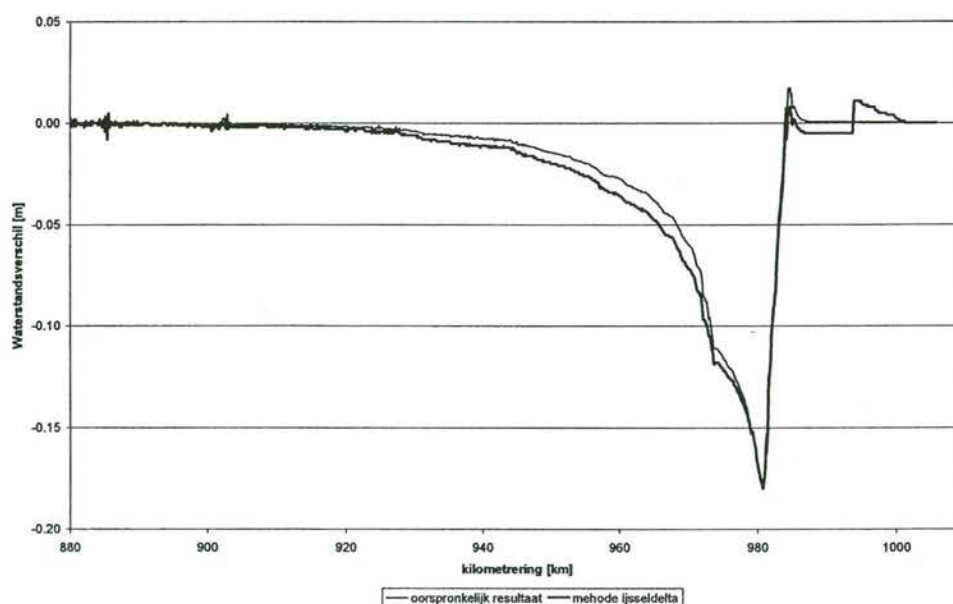
Uit de resultaten van de twee berekeningen met bovenvermelde randvoorwaarden is steeds één resultaatreeks samengesteld: het deel bovenstrooms van het overgangsgebied uit belastinggeval Q gecombineerd met het deel benedenstrooms van het overgangsgebied uit belastinggeval H. Voor het overgangsgebied wordt het maximum van beide reeksen genomen. Figuur 4-1 toont een voorbeeld zo'n samengestelde waterstandslijn.



Figuur 4-1 Waterstandslijn IJsseldelta samengesteld uit resultaten van twee berekeningen

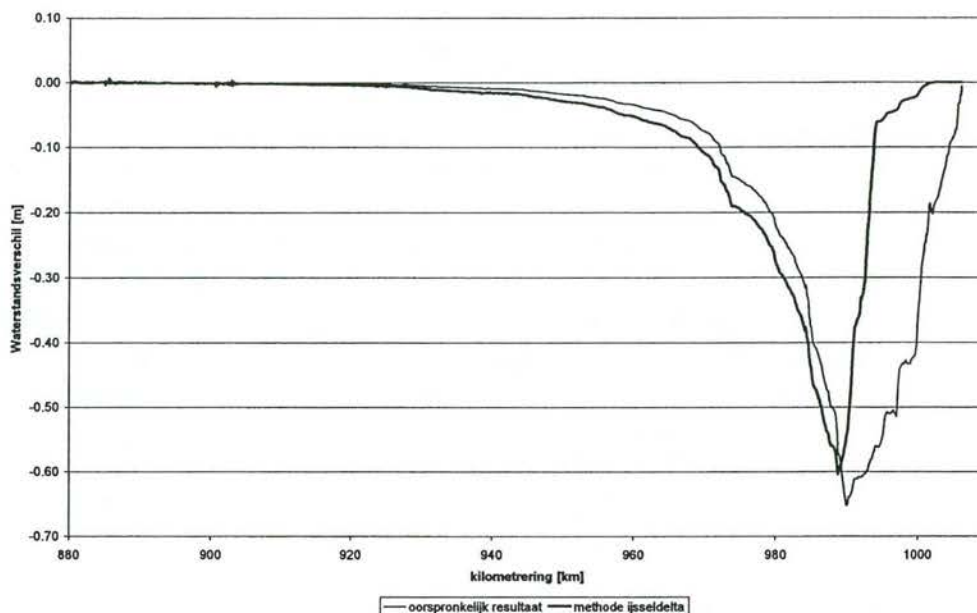
Uit de resulterende samengestelde reeksen van maatregelen en die van de referentiesituatie zijn tenslotte de effecten van maatregelen bepaald.

Het effect van de extreme waterstand op het Ketelmeer is voornamelijk merkbaar in het benedenstroomse deel van de IJsseldelta. Zodra de rivierafvoer de overhand krijgt, verschillen de effecten weinig met eerder berekende resultaten, toen de IJsseldelta nog niet separaat werd beschouwd. Figuur 4-2 toont als voorbeeld het verschil tussen beide resultaten voor dijkverlegging 20509 bovenstrooms van het overgangsgebied. De kleine verschillen bovenstrooms zijn waarschijnlijk te wijten aan het verschil in afvoer waarmee beide maatregelen berekend zijn. De verschillen benedenstrooms van de maatregel zijn het gevolg van de manier waarop de beide berekeningen gecombineerd worden (maximum in plaats van wegingsprocedure). Het totale waterstandsverlagende effect verschilt echter niet zo veel.



Figuur 4-2 Resultaten dijkverlegging 20509 bovenstrooms van het overgangsgebied IJsseldelta

Voor maatregelen die liggen in het benedenstroomse van de IJsseldelta is er wel een duidelijk verschil tussen de resultaten van beide methoden. Figuur 4-3 toont als voorbeeld de resultaten van berekeningen met en zonder windopzet voor maatregel 40503. Dit is een groene rivier die benedenstrooms van het overgangsgebied ligt. Waar in de eerdere berekening het effect merkbaar was tot aan de rand van het model, doet nu de extreme waterstand op het Ketelmeer dit effect teniet. Bovendien neemt de totale waterstandsval af.



Figuur 4-3 Resultaten groene rivier 40503 benedenstrooms van het overgangsgebied

4.5 Rekenrooster WAQUA

Aanpassingen aan het rooster ten behoeve van maatregelen

De binnendijkse maatregelen (dijkverleggingen, groene rivieren) vragen om ruimte in het rekenrooster van WAQUA. Deze ruimte is niet altijd aanwezig in het rooster. Het rooster is indertijd immers gemaakt voor het gebied tussen de bestaande bandijken. Het huidige WAQUA rooster dient dus te worden uitgebreid.

In de Spankrachtstudie voor het BOR-gebied zijn (in eerste instantie) 63 dijkverleggingen en groene rivieren beschouwd. Hiervan:

- vielen 14 maatregelen 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 4-5 geeft een overzicht van de roosteruitbreidingen.

Tabel 4-5 Overzicht roosteruitbreidingen

nr	code	oe- ver	tak	van kmr	tot kmr	omschrijving	opmerkingen
grootschalige dijkverleggingen							
1	20201	L	W	877	882.8	Nijmegen (Ooijpolder)	
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	

nr	code	oe- ver	tak	van kmr	tot kmr	omschrijving	opmerkingen	
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		valt binnen Zutphen
23	20505	L	IJ	929.3	933.1	De Voorster Klei		
24	20506	L	IJ	946.8	947.6	Melkleen		
25	20507	L	IJ	955	960	Welsummerwarden		
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)		
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	50009					Nijmegen	valt binnen huidige rooster	
2	20401+30401					Bakenhof		
3	20501					Hondsbroeksche Pleij		
'kleinschalige' dijkverleggingen								
1	02800	R	W	917.9	919.4	vernauwing (Ophemert)	valt binnen huidige rooster	
2	30204	R	W	885.3	886.3	dijkverlegging Hof van Holland		
3	30205	R	W	888.3	888.8	dijkverlegging Oosterhout		
4	30206	R	W	891.3	893.3	dijkverl. Loenensche Buitenpolder		
5	30207	L	W	895.8	896.8	dijkverlegging Winssen	valt binnen 20203+20204	
6	30208	R	W	895.8	897.3	dijkverlegging Dodewaard		
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	valt binnen huidige rooster	
15	30407	R	NL	969.3	970.8	dijkverlegging Schoonhoven		
16	30505	L	IJ	930.2	932.7	dijkverlegging Rammelwaard		
17	30506	L	IJ	969.3	970.8	dijkverlegging Werven		
18	30508	R	IJ	992.3	993.8	dijkverlegging IJsselmuiden		
19	30509	L	IJ	999.3	1001.8	dijkverlegging Kampen		
20	8101	R	NL	933	934.5	vernauwing Wijk bij Duurstede	valt binnen huidige rooster	

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 gladheid van het rooster in lengte- en dwarsrichting (M- en N-gladheid) dient kleiner te zijn dan 20%; en
- de orthogonaliteit van de roosteruitbreidingen dient kleiner te zijn dan 0,05.

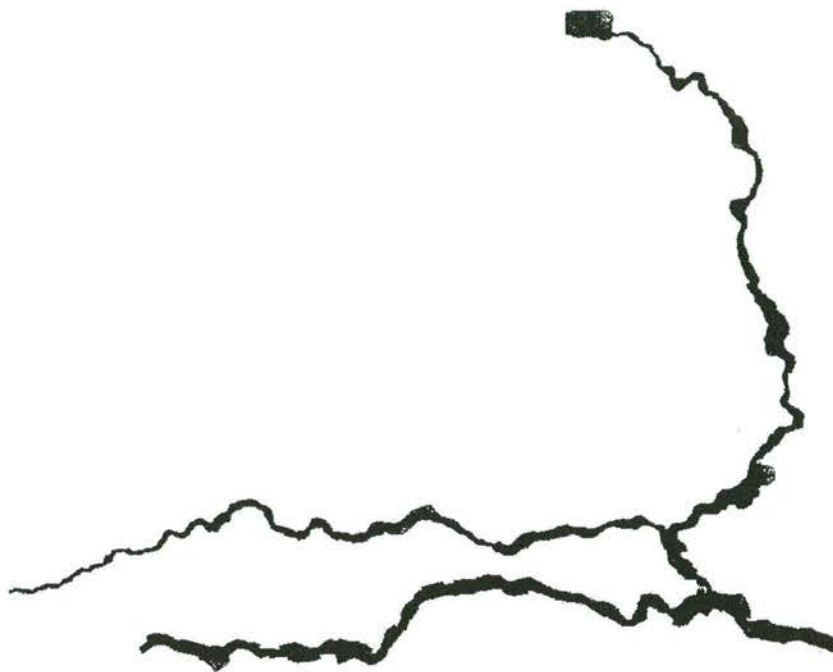
Bovenstaande eisen zijn - o.a. in het kader van de Spankrachtstudie - enigszins uitgebreid:

- zowel de M- als N-gladheid dient kleiner te blijven dan 20%, maar 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.

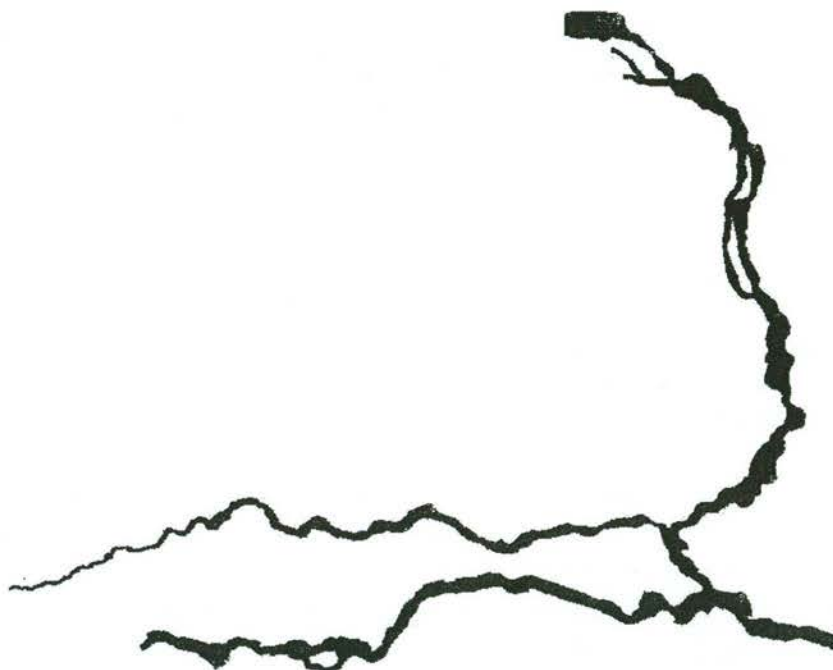
Ter verduidelijking wordt kort ingegaan op de betekenis van gladheid en orthogonaliteit. Gladheid zegt iets over de grootte van de variatie in afmetingen van de gridcellen. Een maximum eis van 20% wil zeggen dat de lengte c.q. breedte van een gridcel niet meer dan 20% mag afwijken van die van zijn burens. 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 getoetst aan de criteria die hierboven beschreven staan. Een aantal roosteruitbreidingen is naar aanleiding van deze controle aangepast. Figuur 4-4 en Figuur 4-5 geven een overzicht van het huidige rooster en het in het kader van de voorliggende studie uitgebreide rooster.



Figuur 4-4 Huidige rooster WAQUA-model Rijntakken



Figuur 4-5 In het kader van de Spankrachtstudie uitgebreide rooster WAQUA-model Rijntakken

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 rooster-

aanpassing. Deze figuren geven 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 zijn deze afwijkingen geaccepteerd. Wel dient vermeld te worden dat de afwijkingen ten aanzien van de criteria tot het minimum zijn beperkt.

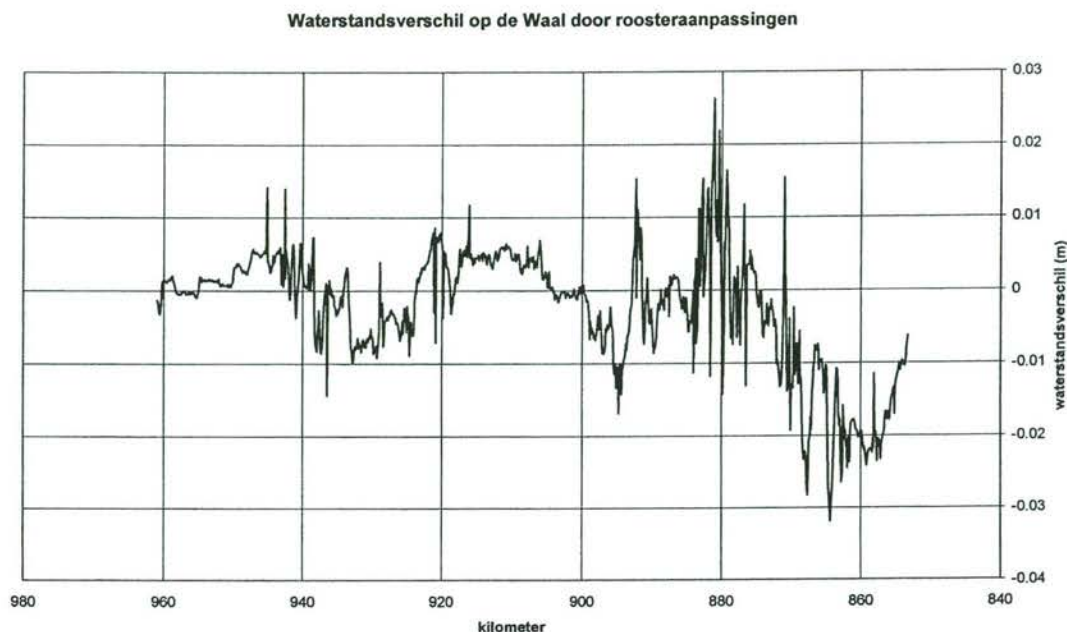
Met name op de IJssel blijken door beperkte uitbreidingsmogelijkheden hier en daar soms weinig roosterlijnen in de hoofdgeul te bevinden, vaak op plaatsen waar dit toch al kritiek was. Bovenstaande afwijkingen zijn geaccepteerd maar hebben mede geleid tot tamelijk grote afwijkingen in de berekende waterstanden 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 berekende waterstanden. Door uitbreidingen kan het gebeuren dat het aantal roostercellen in het zomerbed kleiner wordt of dat de oriëntatie van de roostercellen 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 m³/s. Beide WAQUA-schematisaties zijn gegenereerd met behulp van BASELINE.

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. Figuur 4-6 toont dat de verschillen op de Waal klein zijn en maximaal 0,03 m bedragen. De kwaliteit van het rooster is voor de Waal dus nauwelijks afgenomen.

Figuur 4-7 toont dat op de Neder-Rijn voor het grootste deel van de tak de verschillen kleiner zijn dan 0,04 m, maar 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 4-6 Waterstandsverschillen op de Waal door roosteraanpassingen bij 16.000 m³/s

Figuur 4-8 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 uitrekken 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 4-7 Waterstandsverschillen op de Neder-Rijn door roosteraanpassingen bij 16.000 m³/s



Figuur 4-8 Waterstandsverschillen op de IJssel door roosteraanpassingen bij 16.000 m³/s

4.6 BASELINE-modellering van maatregelen

BASELINE en het modelleren van maatregelen

Voor het modelleren van de maatregelen is gebruik gemaakt van BASELINE (versie 3.0). 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 HR2001. 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.

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 gebruikte versie van) BASELINE regelmatig wijzigingen in de WAQUA-bestanden nodig zijn om de gewenste modellering van een maatregel te kunnen bewerkstelligen.

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 iedere maatregel. Daarvoor wordt verwezen naar deelrapport 3.

4.6.2 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

Het verwijderen van veerstoep Lexkesveer bestaat uit het op de linkeroever verwijderen van de toegangsweg tot het veer en het over enkele tientallen hectares uitvoeren van natuurontwikkeling.

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.

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 Veur-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.

4.6.3 Modellerings van buitendijkse maatregelen

Bij buitendijkse maatregelen gaat het met name om het verwijderen van hoogwatervrije terreinen en veerstoepon. 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 veerstoepon 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.

4.6.4 Modellerings van dijkverleggingen

Voor alle groot- en kleinschalige dijkverleggingen is eenzelfde 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.

4.6.5 Modellerings van groene rivieren

Groene rivieren worden enerzijds toegepast in situaties waar dijkverlegging door het bestaande ruimtegebruik op problemen stuit, bijvoorbeeld bij steden. Anderzijds worden groene rivieren toegepast vanuit de wens om opties voor de verre toekomst open te houden. Bij voorkeur wordt er niet gegraven in het tracé van een groene rivier. 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 deelrapport 11.

De beschouwde groene rivieren zijn in beginsel alle gemodelleerd in WAQUA. Het rooster is daartoe 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.

Een aantal groene rivieren is door de opdrachtgever aangereikt voor bestudering op het moment dat de roosteruitbreidingen reeds waren uitgevoerd. Deze groene rivieren, die met name langs de Waal liggen, zijn in overleg met de opdrachtgever op een meer eenvoudige wijze gemodelleerd door het combineren van een laterale onttrekking op het inlaatpunt, met het weer terug laten stromen van hetzelfde debiet bij het uitlaatpunt van de groene rivier.

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

4.6.6 Modelleren van retentie

Retentiebekkens zijn niet geschematiseerd met behulp van BASELINE. Wel is met behulp van WAQUA een aantal berekeningen gemaakt om het waterstandseffect van retentie te kunnen inschatten. Deelrapport 3 beschrijft de resultaten.

4.6.7 Modelleren 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.

4.6.8 Modellerings van Aanvullende Maatregelen

Aanvullende Maatregelen van Typen 1, 2 en 3 (AM1, AM2 of AM3) zijn ontgravingen in alle uiterwaarden van het Rijntakkegebied met uitzondering van de zogenaamde blijf-af-gebieden, gebieden met hoge archeologische waarde, (niet officiële) natuurgebieden die groter zijn dan 5 ha en gebieden die vallen onder het Deltaplan Grote Rivieren (DGR). 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 (functieomslag naar natuur), met grasland vergraven tot 50% open water en 50% natuurlijk uiterwaardgrasland;
- AM3 lijkt AM2, maar met grasland vergraven tot 25% open water en 75% natuurlijk uiterwaardgrasland ontstaat.

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 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 deels grasland en deels open water. 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 hoofdstuk 9 van het voorliggende rapport waarin een en ander in detail is uitgewerkt.

In het RvR-project is een methode ontwikkeld waarmee de benodigde bestanden voor BASELINE kunnen worden gegenereerd om de Aanvullende Maatregelen te schematiseren in WAQUA. In de Spankrachtstudie is van deze methode 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-uitwaarden. Voor een overzicht van deze uiterwaarden wordt verwezen naar RvR-rapport 99.05 (Hydraulische effecten van inrichtingsalternatieven).

Methode modellering Aanvullende Maatregelen in BASELINE

Verlagingsen in hoogtebestand BASELINE voor AM1, AM2 en AM3

De methode voor het aanpassen van het hoogtebestand maakt gebruik 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).

Het onderstaande beschrijft 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.

Uit te voeren 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 erasecover 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 wnbhgtbac*
- *&r shape2cover.aml /p/q2975/AM1_AM2_AM3/verl_am1_minblfaf.shp /p/q2975/baseline/aml/verlaging/verl_am1*
- *cover en shapefile zijn identiek*
- *intersect winbedhgt ../verlaging/verl_am1 wnbhgt_am1 point # join*
- *intersect WNBHDHGT_AM1 ../verlaging/deltawet wnb_int_int point*
- *erase WNBHDHGT_AM1 ../verlaging/deltawet wnb_int_er point*
- *additem wnb_int_er.pat newhgt 4 I2 F 2*
- *select wnb_int_er.pat; calculate NEWHGT = HOOGTE - DELTAHC*
- *erase WINBEDHGT ../verlaging/verl_am1 wnb_am1_er point*
- *select wnb_int_er.pat; alter; hoogte; hgtold; newhgt; hoogte*
- *copy wnb_am1_er wnbhgt_verl*
- *edit wnb_int_int;ef point; select all; put wnbhgt_verl*
- *edit wnb_int_er;ef point; select all; put wnbhgt_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 4-6 toont welke items in de verschillende bestanden zijn aangepast.

Tabel 4-6 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 verder L&C-uitertaarden genoemd. Voor de 'L&C-alternatieven' moeten nieuwe hoogtemodellen aangemaakt worden door aanpassingen aan de invoerbestanden. De te doorlopen stappen volgen op de uitgevoerde stappen voor het aanmaken van de bestanden voor AM1, AM2 en AM3, en zijn:

1. *erase* uit het verlaagde bestand van AM1, AM2 of AM3 de punten die liggen binnen de polygonen van het L&C-uitertaardenbestand;
2. maak een *intersect* van het bestand met de referentiehoogten en het bestand met de L&C-uitertaarden;

3. kopieer 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 WNBDAHGT_VERL ../verlaging/lencuitw wnb_d_lenc_er point*
- *intersect wnbahgt_ref ../verlaging/lencuitw wnb_d_lenc_int point # join*
- *copy WNB_D_LENC_ER wnb_d_lenc_vl*
- *edit wnb_d_lenc_int; ef point; select all; put wnb_d_lenc_vl*
- *alleen voor gecombineerde lijnen- en puntenbestanden: edit originele lijnenbestand (b.v. hvershil); 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 overlatten);
- 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 voor het aanpassen van het ecotopenbestand maakt gebruik 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).

Uit te voeren stappen:

1. haal gebieden uit het nieuwe bestand die overlappen met de DGR-gebieden 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 4-7);*
- *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 4-7 Codering van ruwheidsklassen in BASELINE

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

Bepaalde uiterwaarden worden in '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 verder L&C-uitwaarden genoemd. Voor de 'L&C-alternatieven' moeten nieuwe ruwheidsbestanden aangemaakt worden door aanpassingen aan de invoerbestanden. De te doorlopen stappen volgen op de uitgevoerde stappen voor het aanmaken van de bestanden voor AM1, AM2 en AM3, en zijn:

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
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).

¹ Eco_code = niet aanwezig

² Eco_code = RUK-1, ROK-1 en RHk-1

4.6.9 Modelleren van verwijderen van kades

Een groot aantal kades in het Rijntakkegebied heeft geen duidelijke hydraulische functie of weinig invloed op de stroming. Om een idee te krijgen hoeveel de waterstand bij verwijdering van deze kades zakt 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.

5 Hydraulische taakstelling

5.1 Definitie van hydraulische taakstelling

In de Spankrachtstudie is de afvoerverdeling over de takken mede onderwerp van studie. Het is daarom dat - in afwijking van de definitie die is gehanteerd in het RvR-project - de hydraulische taakstelling als volgt is gedefinieerd: *het waterstandseffect als gevolg van een grotere afvoer op een tak zonder de uitvoering van rivierverruimende maatregelen.*

In de Spankrachtstudie wordt uitgegaan van:

- een Rijnafvoer van 18.000 m³/s;
- een Maasafvoer die hieraan equivalent is, te weten 4.600 m³/s;
- (aangepaste) zijdelingse toestromingen;
- een zeespiegelstijging van 60 cm; en
- een afvoerverdeling op Pannerdensche Kop en IJsselkop die *niet* meer vaststaat.

Het 'loslaten' van de afvoerverdeling heeft tot gevolg dat er ten opzichte van RvR een vrijheidsgraad is bijgekomen voor de bepaling van de taakstelling op het Pannerdensch Kanaal en de Boven-Rijn. Deze hangt niet alleen af van de extra afvoer via de betreffende tak, maar ook van de wijze waarop dat extra water wordt verdeeld op de splitsingspunten. Een voorbeeld (met fictieve waterstandseffecten) maakt dit duidelijk:

- 2.000 m³/s extra via het Pannerdensch Kanaal volledig naar de IJssel afvoeren geeft een opzet op de IJsselkop van 90 cm;
- terwijl dezelfde hoeveelheid volledig naar de Neder-Rijn/Lek afvoeren geeft een opzet op de IJsselkop van 80 cm; en
- dezelfde hoeveelheid gelijk verdelen op de IJsselkop geeft een opzet van 40 cm.

Het voorliggende hoofdstuk bespreekt de resultaten van werkzaamheden gericht op het uitvoeren van WAQUA-berekeningen voor de hydraulische taakstellingen op de Rijntakken.

De waterstanden uit HR1996 bij een afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith dienen als referentie voor de taakstelling voor het BOR-gebied. Deze aanpak wijkt af van die voor het RvR-project, waarin voor de referentie werd uitgegaan van een berekening bij 15.000 m³/s. De situatie met 0 m³/s extra bij Lobith zal niet overeenkomen met de resultaten uit HR1996, onder andere doordat in de loop der jaren ruimte is ontstaan in het rivierbed door uitschuring van het zomerbed (Boertienruimte). Daarnaast is het model voor de Rijntakken geactualiseerd; wijzigingen in vegetatieontwikkeling en vergravingen in enkele uiterwaarden zijn opgenomen in de nieuwe schematisatie en de formuleringen voor overlaten en ruwheden zijn aangepast. Als laatste is er een wijziging opgetreden in de hydraulische randvoorwaarden doordat de zijdelingse toestromingen (sterk) zijn toegenomen.

De berekeningen voor de taakstelling worden gemaakt op het huidige rooster, zoals dat ook gebruikt is voor het bepalen van de waterstanden voor HR2001. Immers, het gebruik van het

in het kader van de Spankrachtstudie uitgebreide rooster zou leiden tot verschillen die niet het gevolg zijn van een gewijzigde afvoer, maar van verschillen in roosterconfiguratie.

Om te kunnen voldoen aan de benodigde flexibiliteit bij het definiëren van de taakstelling voor de afzonderlijke takken is het nodig onderstaande berekeningen uit te voeren, waarbij in alle gevallen als uitgangspunt een afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith is gehanteerd:

- een afvoer van 16.000 m³/s en 18.000 m³/s volgens de huidige afvoerverdeling;
- voor de Waal: zes stappen van 500 m³/s bovenop de huidige maatgevende afvoer van 9.530 m³/s;
- voor de Neder-Rijn: vier stappen van 250 m³/s extra bovenop de huidige maatgevende afvoer van 3.165 m³/s en bovendien een berekening met 3.000 m³/s extra; en
- voor de IJssel: zes stappen van 250 m³/s extra bovenop de huidige maatgevende afvoer van 2.305 m³/s en bovendien een berekening met 3.000 m³/s extra.

De bovengrenzen van de extra afvoer per Rijntak (3.000 m³/s voor de Waal, 1.000 m³/s voor de Neder-Rijn en 1.500 m³/s voor de IJssel) worden ingegeven door de verwachte maximale hoeveelheid water die extra over een tak gestuurd kan worden door het inzetten van rivierverruimende maatregelen en retentie.

5.2 Randvoorwaarden

Tabel 5-1 toont de randvoorwaarden die zijn toegepast voor de berekeningen van de taakstelling voor de afzonderlijke takken. Voor het definiëren van de randvoorwaarden is uitgegaan van de Q-h-relaties die door RWS zijn bepaald.

Tabel 5-1 Randvoorwaarden voor de berekeningen voor de hydraulische taakstelling

Waal		Neder-Rijn		IJssel	
afvoer (m ³ /s extra)	benedenrand (m + NAP)	afvoer (m ³ /s extra)	benedenrand (m + NAP)	afvoer (m ³ /s extra)	benedenrand (m + NAP)
0	4,17	0	1,83	0	0,86
500	4,35	211	1,92	154	0,89
635	4,41	250	1,93	250	0,90
1000	4,54	500	2,03	461	0,95
1500	4,71	633	2,09	500	0,95
1906	4,84	750	2,13	750	1,00
2000	4,87	1000	2,22	1000	1,05
2500	5,01	3000	3,11	1250	1,09
3000	5,14			1500	1,14
				3000	1,44

Bij het bepalen van de benedenstroomse randvoorwaarden is rekening gehouden met de toegenomen zijdelingse toestromingen. Met name langs de IJssel spelen deze een belangrijke rol, enerzijds omdat ze hier sterk toegenomen zijn en anderzijds omdat de waterstanden in deze tak zeer gevoelig zijn voor afvoerveranderingen. Op basis van de ervaringen met de hoogwaters van 1993 en 1995 zijn de zijdelingse toestromingen ten opzichte van de situatie voor HR1996 omhoog bijgesteld, met name op de IJssel. In de Spankrachtstudie wordt uitgegaan van de nieuwe zijdelingse toestromingen die horen bij een afvoer te Lobith van 18.000 m³/s. Echter, omdat de pieken van afvoergolven op zijrivieren en beken iets vóór lopen op de afvoerpiek in de hoofdgeul, is in stationaire berekeningen een reductie op de

pieken van de zijdelingse toestroming gehanteerd, leidend tot een totale bijdrage van de zijdelingse toestromingen van $322 \text{ m}^3/\text{s}$. *Deze bijdrage van de zijdelingse toestromingen blijft bij alle in de Spankrachtstudie beschouwde afvoeren gelijk.*

Hoofdstuk 6 van het voorliggende rapport beschrijft in detail de zijdelingse toestromingen en hoe bovengenoemde reductie op de pieken is berekend. Voor de berekeningen voor de taakstelling zijn de volgende bijdragen gebruikt, ontleend aan Tabel 6-5:

- $24 \text{ m}^3/\text{s}$ naar de Waal;
- $7 \text{ m}^3/\text{s}$ naar het Pannerdensch Kanaal;
- $28 \text{ m}^3/\text{s}$ naar de Neder-Rijn; en
- $263 \text{ m}^3/\text{s}$ naar de IJssel.

5.3 Resultaten hydraulische taakstelling bovenrivieren

De in deze paragraaf gepresenteerde hydraulische taakstellingen zijn opgenomen in de Blokkendoos.

De in deze paragraaf opgenomen figuren zijn als volg tot stand gekomen:

1. startpunt zijn de waterstanden uit stationaire WAQUA-berekeningen met een hoge afvoer en de bodem van 1995/1997;
2. daarvan is afgetrokken de topvervlakking die hoort bij de meest recente modellering;
3. daarvan is afgetrokken de referentie, zijnde de ruwe gegevens voor HR1996 (drie decimalen, waarbij rekening is gehouden met topvervlakking) gebaseerd op een bodem van 1981;
4. hierbij is opgeteld de Boertienruimte (waarmee in feite de Boertienruimte is 'vrijgehouden' voor de gebruiker van de Blokkendoos en de taakstelling stijgt).

Voor de Boven-Rijn en het Pannerdensch Kanaal is onderscheid gemaakt tussen enerzijds een taakstelling als gevolg van een waterstandsopzet op het benedenstroomse splitsingspunt en anderzijds als gevolg van een toename in de afvoer. Voor deze takken is bovengenoemde verrekening van de topvervlakking en de Boertienruimte uitsluitend toegepast bij de situatie met opzet op het benedenstroomse splitsingspunt.

5.3.1 Hydraulische taakstelling Waal

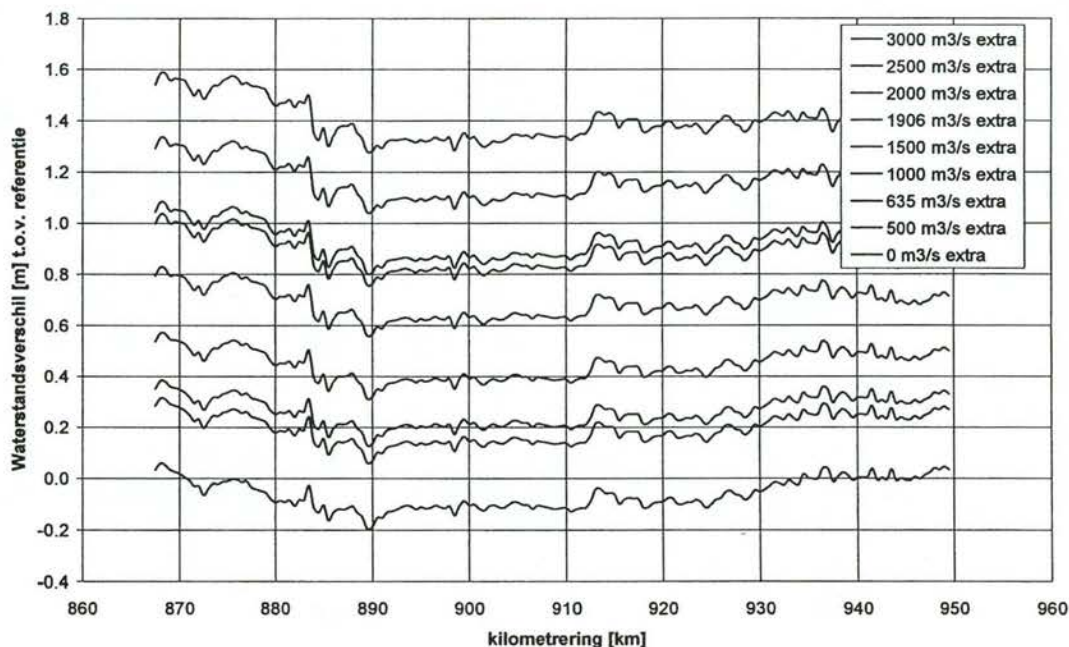
In het overgangsgebied tussen boven- en benedenrivieren wordt de taakstelling beïnvloed door het getij en door het feit dat de benedenstroomse randvoorwaarde op de Waal wordt beïnvloed door de mate waarin extra afvoer wordt gestuurd over de Neder-Rijn/Lek.

De bovenstroomse grens van de invloed van het getij wordt vastgesteld door te bepalen op welk punt de met het landelijk SOBEK-model bepaalde waterstanden uitstijgen boven de met WAQUA (stationair) bepaalde waterstanden. Voor het bepalen van de grens tot waar de invloed merkbaar is van de extra afvoer die via de andere tak wordt geleid, worden de resultaten van het landelijk SOBEK-model onderling vergeleken. Dit levert twee locaties op:

- één voor de bovenstroomse grens van het overgangsgebied; en
- één voor de bovenstroomse grens waarop de invloed van extra water via de andere tak niet meer merkbaar is.

De meest bovenstroomse van deze twee locaties bepaalt de grens tussen gebruik maken van SOBEK-resultaten en gebruik van WAQUA-resultaten voor de taakstelling. Voor de Waal ligt de overgang bij Vuren (kmr 949). De verschillen die ontstaan op de overgang zijn het gevolg van een afwijkende definitie voor de taakstelling in het BER-gebied: waar rekening is gehouden met een morfologische ontwikkeling tot het jaar 2100.

Figuur 5-1 toont de hydraulische taakstelling voor de Waal bij alle in Tabel 5-1 genoemde afvoeren.



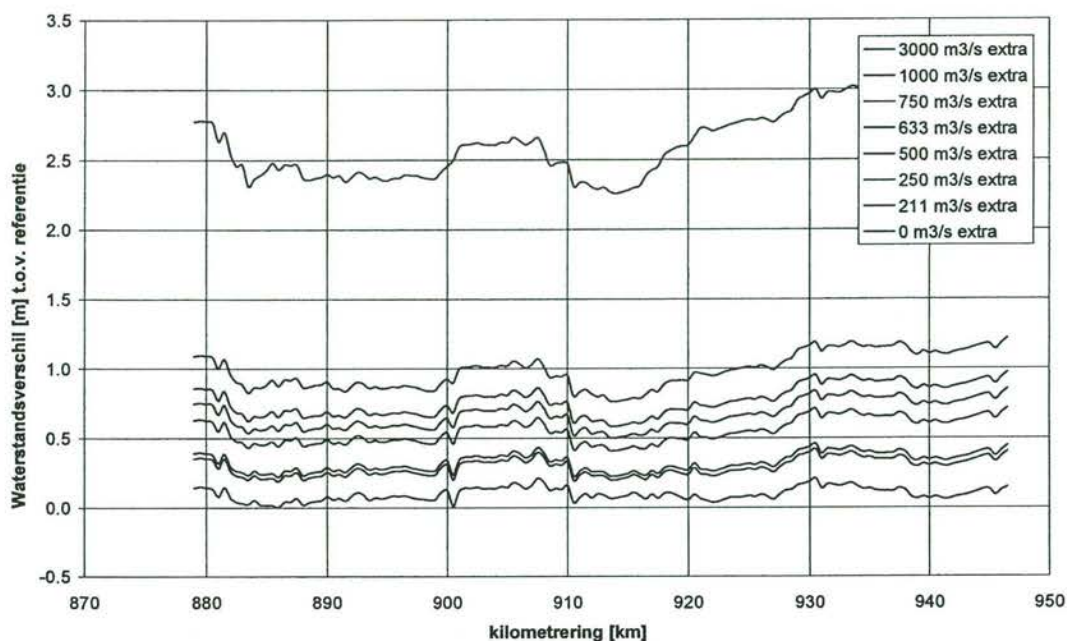
Figuur 5-1 Hydraulische taakstelling voor de Waal

5.3.2 Hydraulische taakstelling Neder-Rijn / Lek

In het overgangsgebied tussen boven- en benedenrivieren wordt de taakstelling beïnvloed door het getij en door het feit dat de benedenstroomse randvoorwaarde op de Neder-Rijn/Lek wordt beïnvloed door de mate waarin extra afvoer wordt gestuurd over de Waal.

De bovenstroomse grens van de invloed van het getij is op eenzelfde wijze bepaald als besproken bij de Waal. Voor de Neder-Rijn / Lek ligt deze grens bij Hagestein (kmr 947). De verschillen die ontstaan op de overgang zijn het gevolg van een afwijkende definitie voor de taakstelling in het BER-gebied: waar rekening is gehouden met een morfologische ontwikkeling tot het jaar 2100.

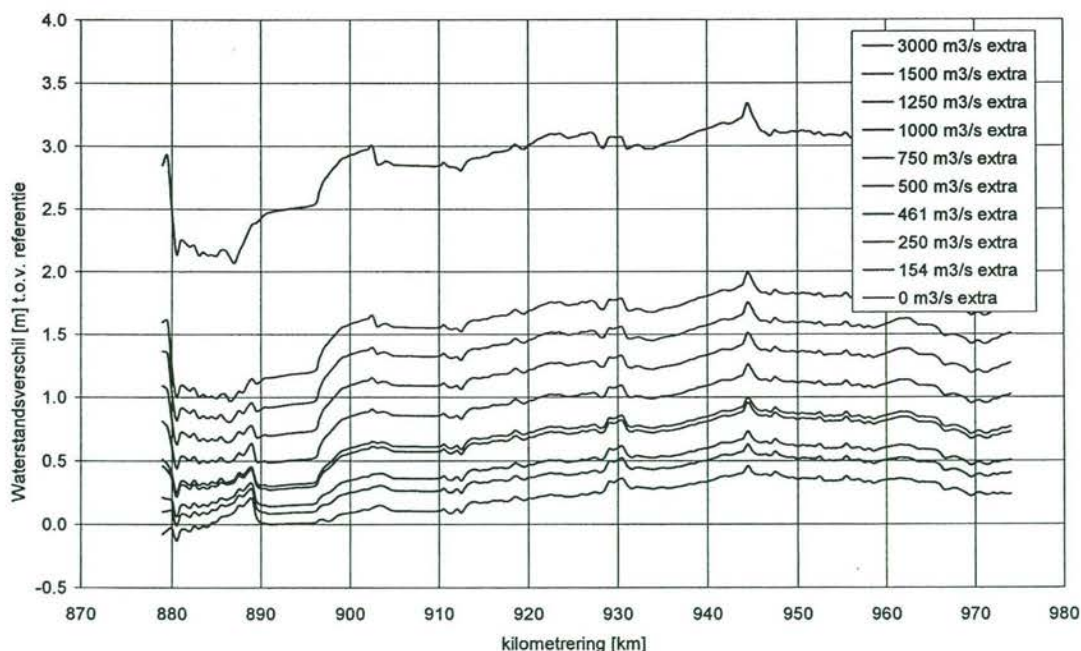
Figuur 5-2 toont de hydraulische taakstelling voor de Neder-Rijn/Lek bij alle in Tabel 5-1 genoemde afvoeren.



Figuur 5-2 Hydraulische taakstelling voor de Neder-Rijn/Lek

5.3.3 Hydraulische taakstelling IJssel

Figuur 5-3 toont de taakstellingen voor de IJssel voor de in Tabel 5-1 genoemde extra afvoeren. De overgang naar de IJsseldelta ligt bij Hattem (kmr 974). Hier begint de dijkkring met een veiligheidsniveau van 1/2000. Door de wijziging in het veiligheidsniveau van 1/1250 naar 1/2000 maakt de taakstelling hier een sprong



Figuur 5-3 Hydraulische taakstelling voor de IJssel

5.3.4 Hydraulische taakstelling Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal

De taakstellingen op de Boven-Rijn en het Pannerdensch Kanaal zijn niet alleen afhankelijk van de extra afvoer over de takken, maar ook van de verdeling op de splitsingspunten. Om voor al deze mogelijkheden een taakstelling te berekenen, zou betekenen dat er voor de Boven-Rijn in totaal 30 berekeningen en voor het Pannerdensch Kanaal 52 berekeningen moeten worden uitgevoerd. Om dit aantal te beperken is gekozen voor een andere methode, waarbij voor beide takken twee typen berekeningen worden gemaakt:

1. extra afvoer op de bovenrand en de waterstand op de benedenstroomse rand corresponderend met $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$; en
2. géén extra afvoer op de bovenrand, maar wel verschillende waterstandsopzetten op het benedenstroomse splitsingspunt.

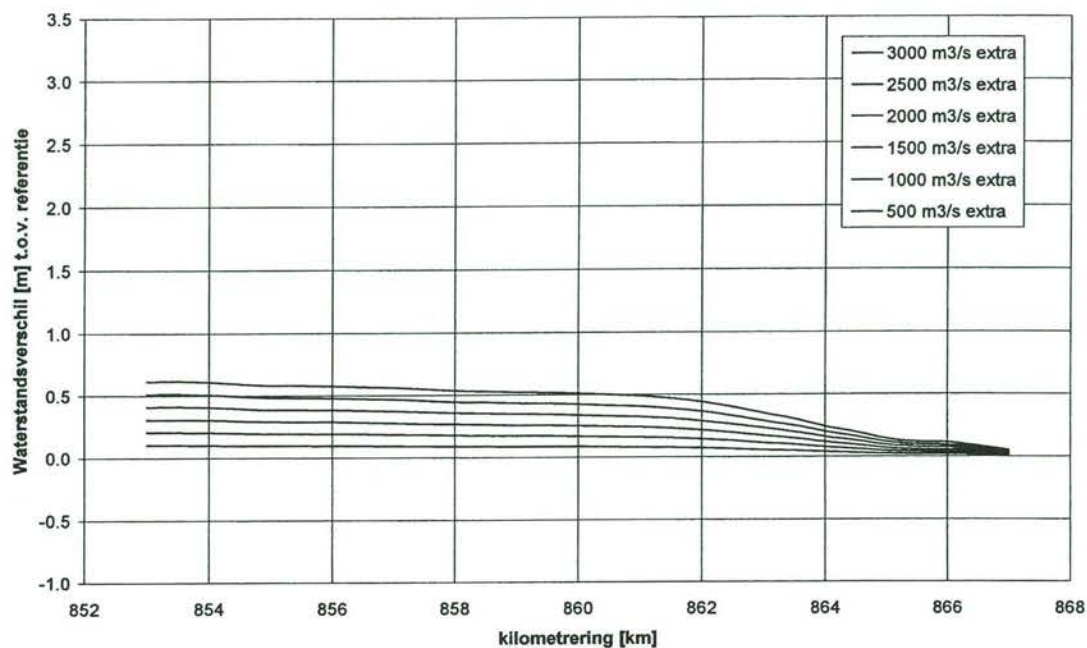
Tabel 5-2 geeft aan welke berekeningen voor de twee takken zijn gemaakt.

Tabel 5-2 Berekeningen voor hydraulische taakstellingen voor Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal

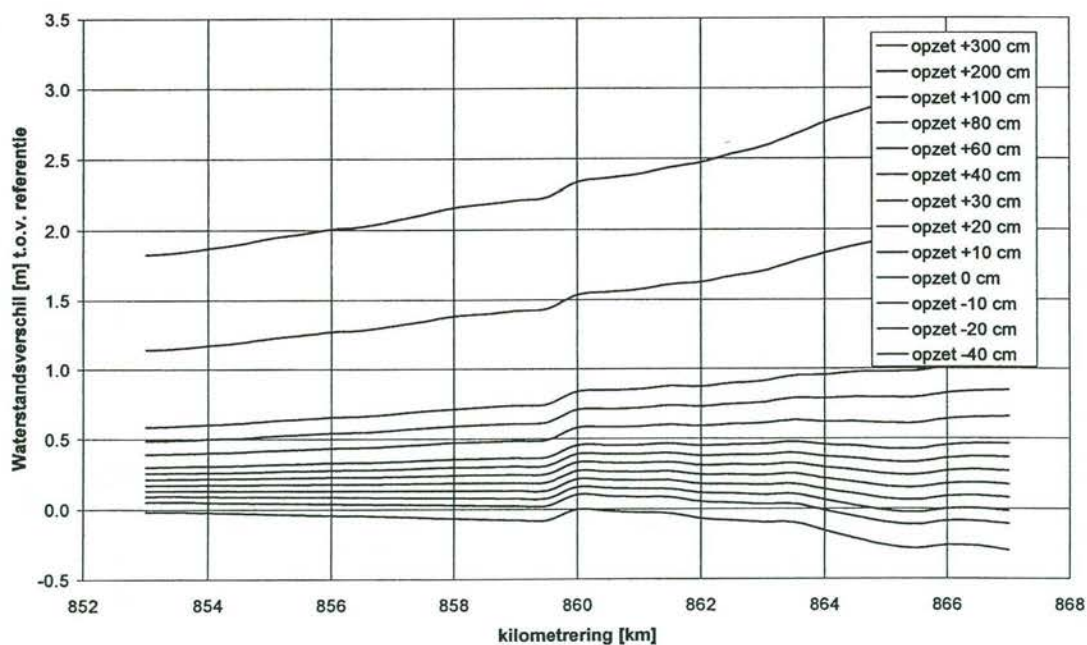
Boven-Rijn	aantal berekeningen
Afvoer Lobith [m^3/s extra]	
0 500 1000 1500 2000 2500 3000	7
Opzet Pannerdensch Kop [cm t.o.v. referentie]	
-40 -20 -10 0 10 20 30 40 60 80 100 200 300	13
Pannerdensch Kanaal	
Afvoer Pannerdensch Kop [m^3/s extra]	
0 250 365 500 750 1000 1094 1250 1500 2000 2500 3000	12
Opzet IJsselkop [cm t.o.v. referentie]	
-30 -20 -10 0 10 20 30 40 80 100 200 300	12
totaal aantal berekeningen	44

Afhankelijk van de gekozen taakstelling op de takken benedenstrooms van het splitsingspunt wordt in de Blokkendoos de opzet op de betreffende kop bepaald door van deze twee de grootste te nemen. Met behulp van interpolatie wordt het waterstandsverschil ten gevolge van deze opzet voor Boven-Rijn of Pannerdensch Kanaal bepaald. De door de gebruiker van de Blokkendoos gekozen afvoerdeling bepaalt vervolgens de extra afvoer op de tak en het daarbij behorende effect voor het waterstandsverschil. Het optellen van beide waterstandsverschillen levert uiteindelijk de (berekende) taakstelling voor Boven-Rijn of Pannerdensch Kanaal. Zie ook deelrapport 9.

Figuur 5-4 en Figuur 5-5 tonen de resultaten van de berekeningen voor de Boven-Rijn.

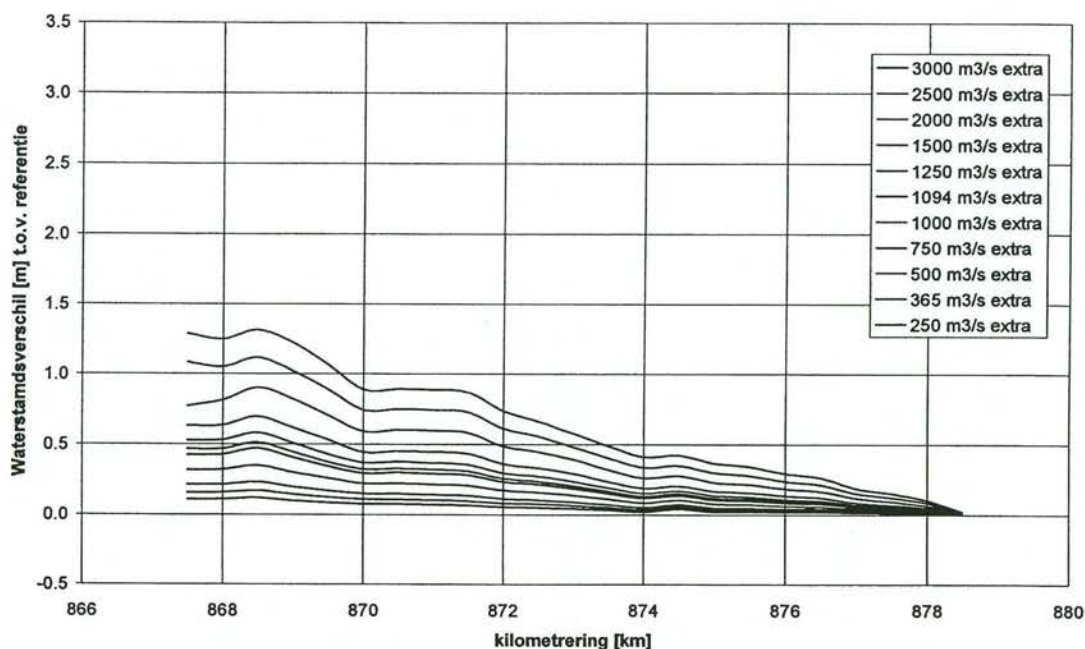


Figuur 5-4 Waterstandsverschillen voor de Boven-Rijn ten gevolge van extra afvoer

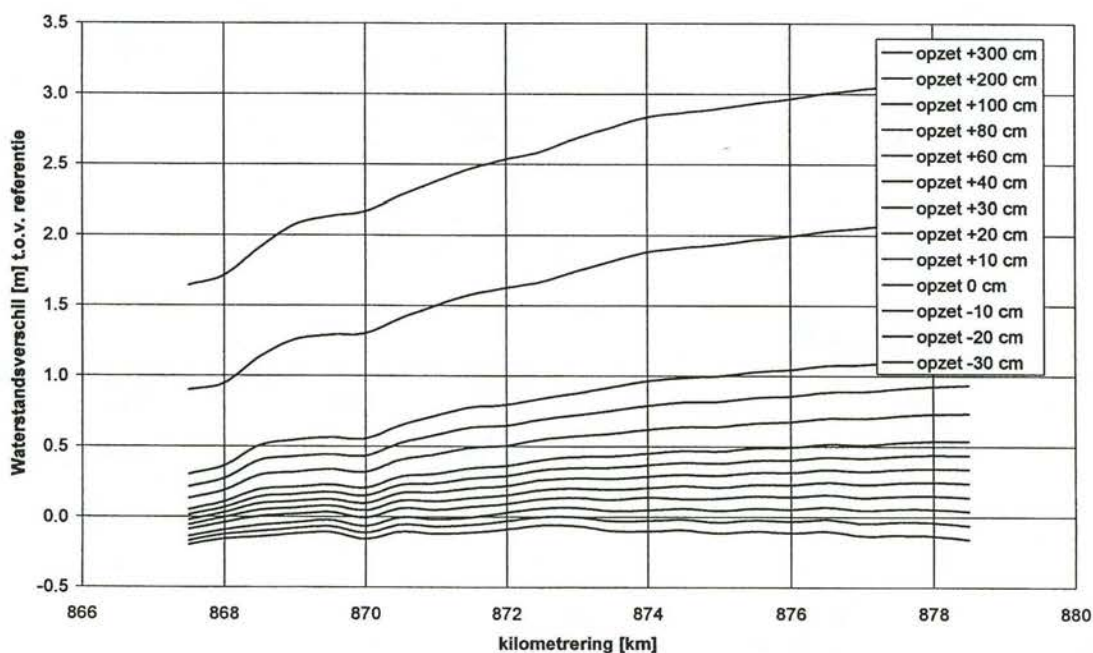


Figuur 5-5 Waterstandsverschillen voor de Boven-Rijn ten gevolge van opzet op de Pannerdensch Kop

Figuur 5-6 en Figuur 5-7 tonen de resultaten van de berekeningen voor het Pannerdensch Kanaal.



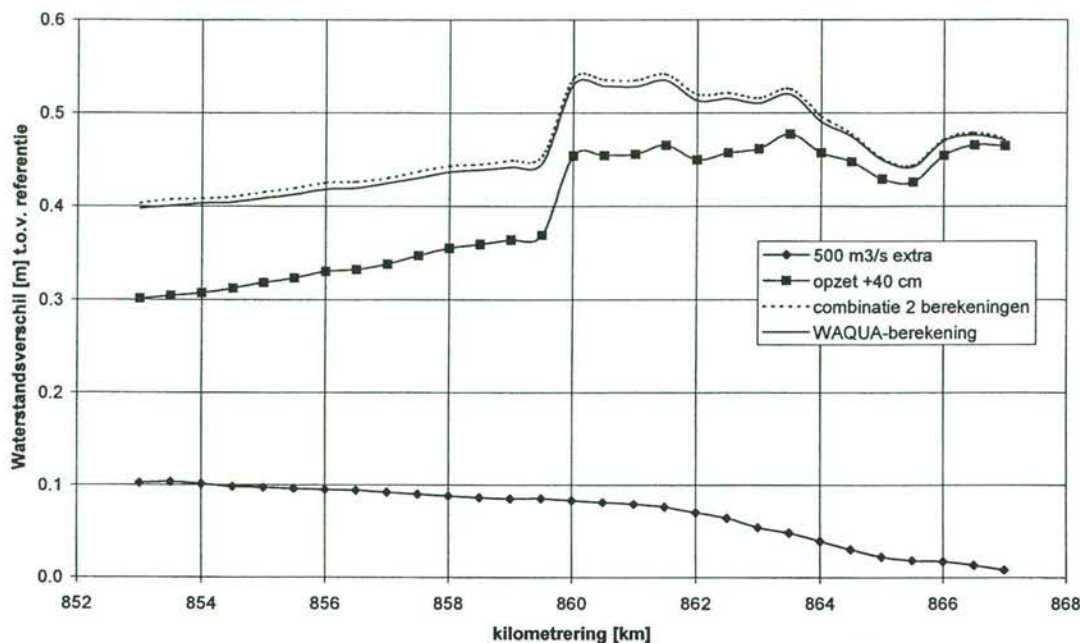
Figuur 5-6 Waterstandsverschillen voor het Pannerdensch Kanaal ten gevolge van extra afvoer



Figuur 5-7 Waterstandsverschillen voor het Pannerdensch Kanaal ten gevolge van opzet op de IJsselkop

Voor beide takken valt op dat de invloed van de vergrote afvoer beperkt wordt door het vasthouden van de benedenrand. Tegelijkertijd is zichtbaar dat een opzet op de benedenrand tot relatief ver bovenstrooms invloed heeft op de waterstand.

Om de aanpak te controleren is een berekening uitgevoerd waarin zowel een opzet op de benedenrand als een toegenomen afvoer op de bovenrand zijn gedefinieerd. Figuur 5-8 toont dat deze berekening vrijwel hetzelfde resultaat oplevert als bovengenoemde methode.



Figuur 5-8 Waterstandsverschil voor de Boven-Rijn bij een opzet van +40 cm op de Pannerdensch Kop en een extra afvoer van 500 m³/s, zowel berekend met genoemde methode als berekend met WAQUA

5.3.5 Hydraulische taakstelling IJsseldelta

Voor de IJsseldelta is een separate beschouwing nodig, dit gezien de stormcondities op het IJsselmeer, die mede bepalend zijn voor MHW's in dit gebied, en gezien het hogere veiligheidsniveau in dit gebied ten opzichte van de IJssel (1/2000 ten opzichte van 1/1250).

De randvoorwaarden in HR1996 zijn het uitgangspunt voor het vaststellen van de taakstelling; een afvoer van 15.000 m³/s bij Lobith met een herhalingsjijd van 1250 jaar voor het bovenstroomse deel van de IJssel. Omdat voor de IJsseldelta een herhalingsjijd van 2000 jaar moet worden aangehouden is het debiet bij Lobith 15.500 m³/s, ofwel 2.380 m³/s op de IJsselkop. In lijn met de berekeningen voor de hydraulische taakstelling voor de IJssel worden voor het belastingsgeval met de extreme afvoer de volgende berekeningen uitgevoerd:

- bij 16.000 m³/s en 18.000 m³/s volgens de huidige afvoerverdeling; en
- zes stappen van 250 m³/s extra bovenop de huidige maatgevende afvoer van 2.380 m³/s en bovendien een berekening met 3.000 m³/s extra.

Deze resultaten worden gecombineerd met het belastingsgeval met een extreme waterstand op het Ketelmeer. Deze berekening is voor alle situaties gelijk: een IJsselafoer met een overschrijdingsfrequentie van één keer per jaar van 874 m³/s op de IJsselkop in combinatie met een hoog IJsselmeerpeil. In deze afvoer is een verhoging van 12,5% verwerkt als gevolg van verwachte klimaatveranderingen.

In de berekeningen voor de taakstelling moet het effect van zijdelingse toestromingen worden meegenomen. Hoofdstuk 6 beschrijft in detail de zijdelingse toestromingen bij de hoge afvoeren en hoe deze bepaald zijn. Omdat de Spankrachtstudie wordt uitgevoerd voor een scenario van 18.000 m³/s te Lobith, worden bij de taakstellingsberekeningen de bij dit scenario behorende zijdelingse toestromingen toegepast. Voor de IJssel impliceert dit (zie hoofdstuk 6) een zijdelingse toestroming van 263 m³/s.

Bij de 1/1-afvoer van de IJssel van 874 m³/s (overeenkomend met een afvoer te Lobith van 6.457 m³/s) liggen de zijdelingse toestromingen lager dan deze waarde van 263 m³/s. Tabel 5-3 toont de gebruikte zijdelingse toestromingen bij een 1/1-IJsselaafvoer. De totale zijdelingse toestroming is in dit geval 76 m³/s. Deze gegevens zijn ter beschikking gesteld door RIZA-Lelystad.

Tabel 5-3 Zijdelingse toestromingen naar de IJssel bij een 1/1-IJsselaafvoer van 874 m³/s (overeenkomend met 6.457 m³/s te Lobith)

afvoer Qlat bij passage max afvoer rivier	max afvoer rivier	maximale afvoer Qlat	km-raai	X-coord	Y-coord	Naam
0,43	898	0,53	886,10	197953	445466	Rozendaalsche en Beekhuizerbeek
3,39	898	4,22	899,90	204759	445855	Liemers en Bevermeer
25,04	916	33,05	901,00	205394	446749	Oude IJssel
2,82	925	3,16	916,30	208435	454441	Leuvenheimsche, Soerensche en Groote beek
7,10	926	8,55	922,20	211905	457604	diverse beken en gemalen kmr 920 - 930
23,26	939	36,88	931,00	209938	464603	Twentekanaal + diverse beken
2,77	954	3,51	935,00	207916	467169	diverse beken en gemalen kmr 930 - 940
3,57	950	4,44	946,20	206285	474751	diverse beken en gemalen kmr 944 - 957
7,00	944	9,70	977,30	201815	499410	diverse beken en gemalen kmr 975 - 985
0,50	950	0,56	992,40	192774	505831	diverse beken en gemalen kmr 987 - 1002
75,88						

Tabel 5-4 en Tabel 5-5 tonen de benedenstroomse randvoorwaarden voor alle uit te voeren berekeningen voor de taakstelling van de IJsseldelta. De genoemde afvoeren zijn op de IJsselkop. De randvoorwaarden zijn bepaald door RIZA Lelystad. Bij het bepalen van de randvoorwaarden is rekening gehouden met een totaal van 270 m³/s voor de zijdelingse toestromingen. Het verschil met de eerder genoemde 263 m³/s is dermate klein dat geen aanpassingen aan de randvoorwaarden zijn doorgevoerd.

Tabel 5-4 Randvoorwaarden voor berekeningen met een extreme afvoer voor de taakstelling IJsseldelta

toename afvoer IJsselkop [m ³ /s extra]	benedenrand Ketelmeer [m + NAP]
0	1,63
154	1,66
250	1,68
461	1,71
500	1,72
750	1,76
1000	1,80
1250	1,85
1500	1,90
3000	2,20

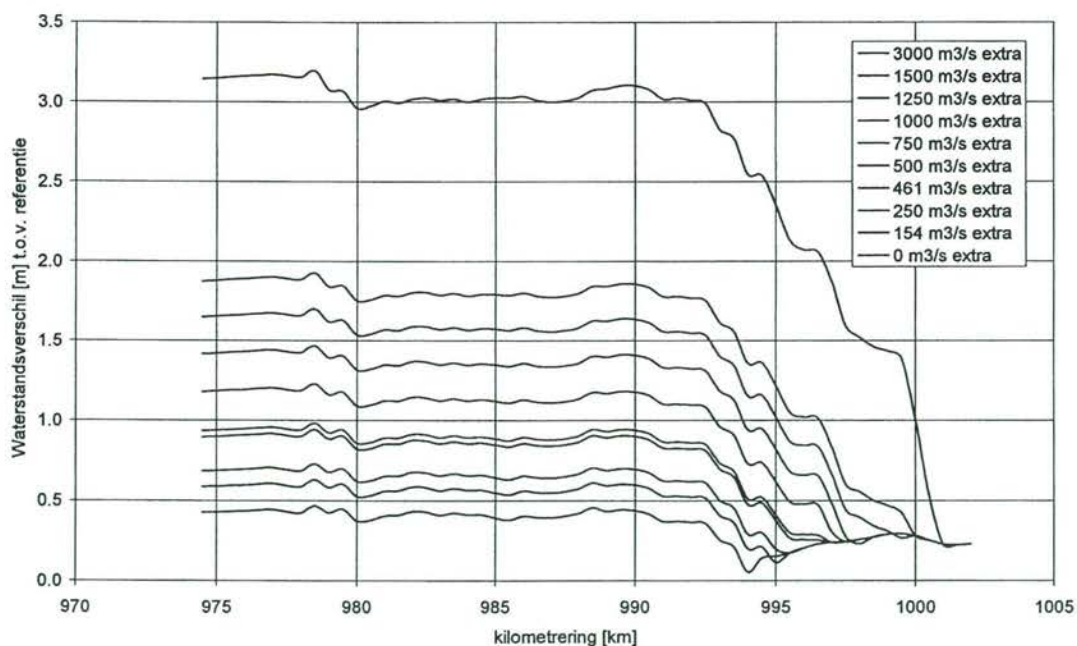
Tabel 5-5 Randvoorwaarden voor berekening met een extreme waterstand op het IJsselmeer voor de taakstelling IJsseldelta

1/1-afvoer IJssel [m ³ /s]	benedenrand Ketelmeer [m + NAP]
874	3,13

Het is niet mogelijk met WAQUA het effect van wind mee te nemen. Wind speelt echter wel een rol in de IJsseldelta. Daarom is in HR1996 voor een deel van de IJsseldelta een extra windopzet gedefinieerd. Voor kmr 981 en 992 moet 0,05 m worden opgeteld bij de waterstand en voor kmr 982 tot en met 991 moet 0,10 m worden opgeteld. Bij het bepalen van de taakstelling voor de Spankrachtstudie wordt deze windopzet ook toegepast.

Bij het bepalen van de waterstanden voor HR1996 is wel gebruik gemaakt van de eerder genoemde wegingsprocedure. Voor het bepalen van het waterstandsverschil voor de taakstelling is echter voor de referentiesituatie ook het maximum van de twee situaties genomen, zodat de vergelijking zuiver blijft. De manier waarop de Boertienruimte bepaald is, staat beschreven in paragraaf 5.5. Omdat de topvervlakking beïnvloed wordt door de hoge waterstanden op het Ketelmeer neemt de invloed daarvan af in benedenstroomse richting. Voor het deel van de IJsseldelta waar de rivierafvoer dominant is, is de topvervlakking de met WAQUA bepaalde waarde. Voor het deel waar de waterstand op het Ketelmeer dominant is, is de topvervlakking op 0,025 m vastgesteld.

Figuur 5-9 toont de hydraulische taakstelling voor de IJsseldelta bij alle in Tabel 5-4 genoemde hoge rivierafvoeren. De taakstelling wordt zichtbaar gemaakt als het verschil in waterstand tussen berekening, minus de topvervlakking, én HR1996. De Boertienruimte is in dat geval nog niet gebruikt.



Figuur 5-9 Hydraulische taakstelling voor de IJsseldelta

In de figuur is zichtbaar dat naarmate de rivierafvoer hoger wordt de invloed van het IJsselmeer afneemt. In de overgang van het bovenstroomse deel van de IJssel naar de IJsseldelta zit een sprong (bij 0 m³/s extra 0,19 m). Naarmate de afvoer groter wordt, neemt het verschil af (bij 3000 m³/s extra 0,10 m). Deze sprong wordt veroorzaakt door het verschil in benedenstroomse randvoorwaarden voor de taakstellingsberekeningen in de IJsseldelta en in het bovenstroomse deel van de IJssel. Globaal liggen de randen voor de IJsseldelta 0,80 m hoger. Als de afvoer groter wordt, neemt de invloed van de rand af, zodat het verschil kleiner wordt.

5.4 Topvervlakking

Een uitgangspunt van de Spankrachtstudie is het gebruik maken c.q. doorrekenen van maatregelen met een constante / permanente afvoer. Dit kan afwijkingen geven ten opzichte van dynamische berekeningen die zijn uitgevoerd met een 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.

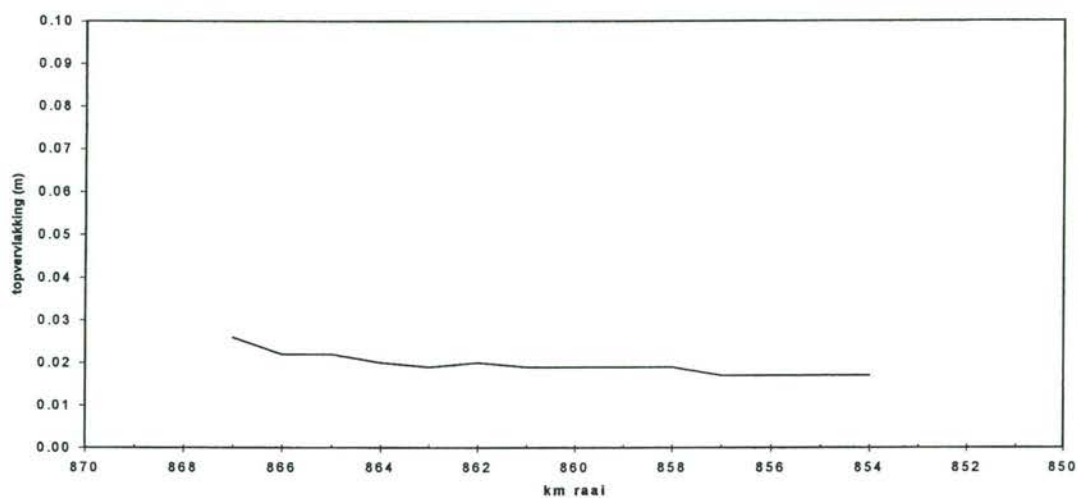
De grootte van de topvervlakking is sterk gecorreleerd aan de mate van rivierverruimingen (riviervervijdingen en verdiepingen) en aan de grootte van de afvoer. Daar waar men geïnteresseerd is in de verschillen van twee vrijwel identieke berekeningen (bijvoorbeeld als slechts één knelpunt is verwijderd) 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 HR1996. 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.

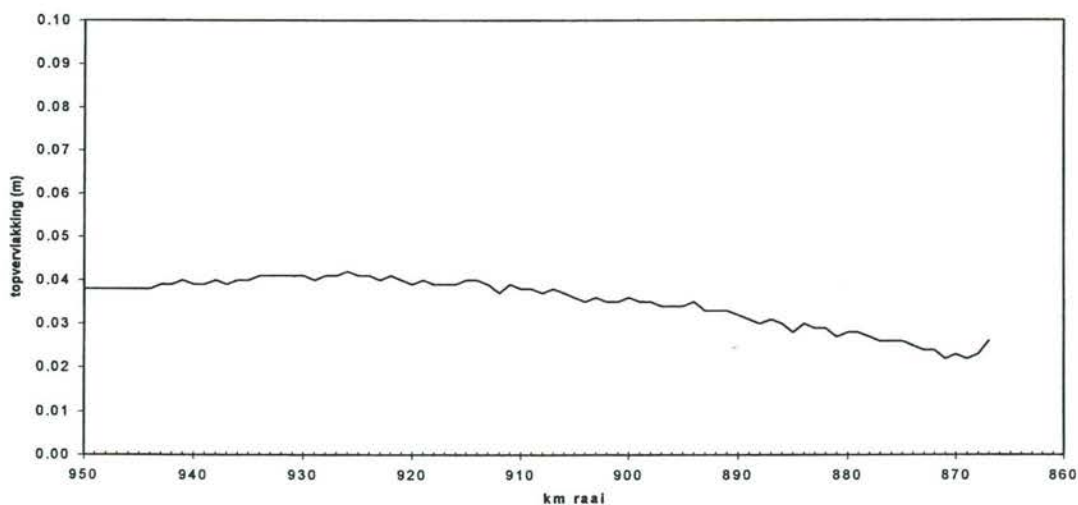
Teneinde het effect van het verschil in topvervlakking in rekening te brengen is door RIZA op basis van dynamische WAQUA-sommen de topvervlakking behorend bij de bodemgeometrie van 1997 bepaald. Deze waarden zijn in mindering gebracht op de, ten behoeve van de taakstellingen berekende stationaire, waterstanden.

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.

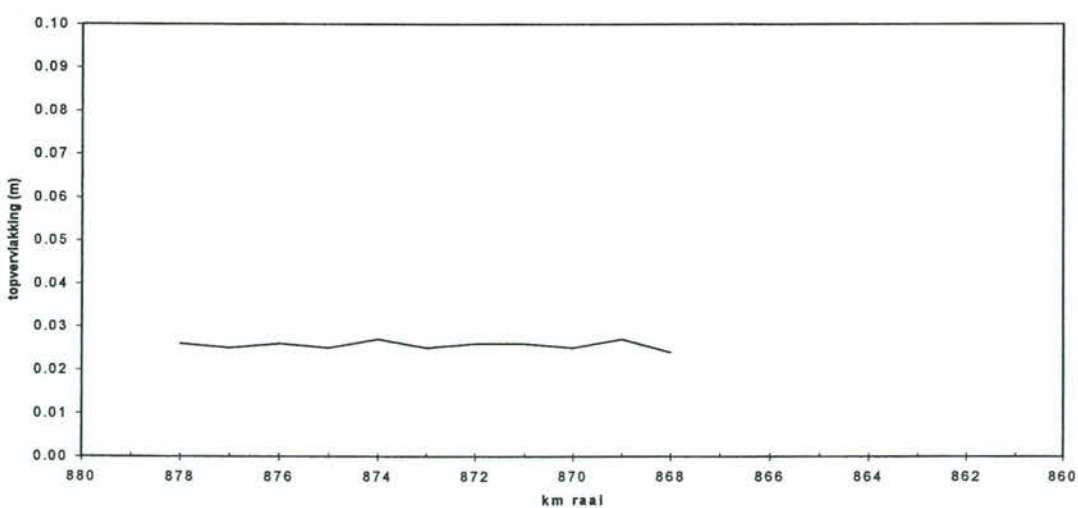
Figuur 5-10 tot en met Figuur 5-15 tonen de topvervlakking voor de diverse Rijntakken.



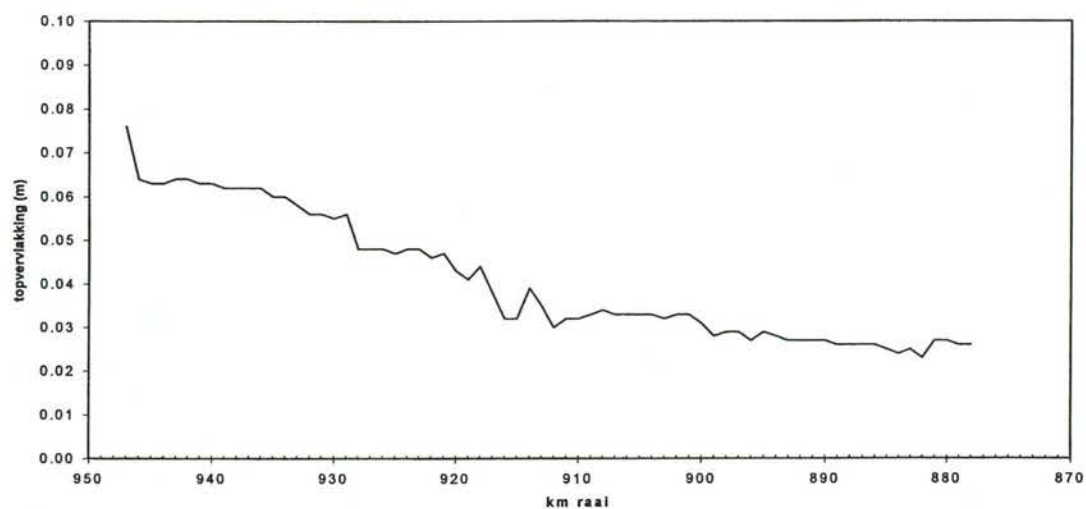
Figuur 5-10 Topvervlakking op de Boven-Rijn



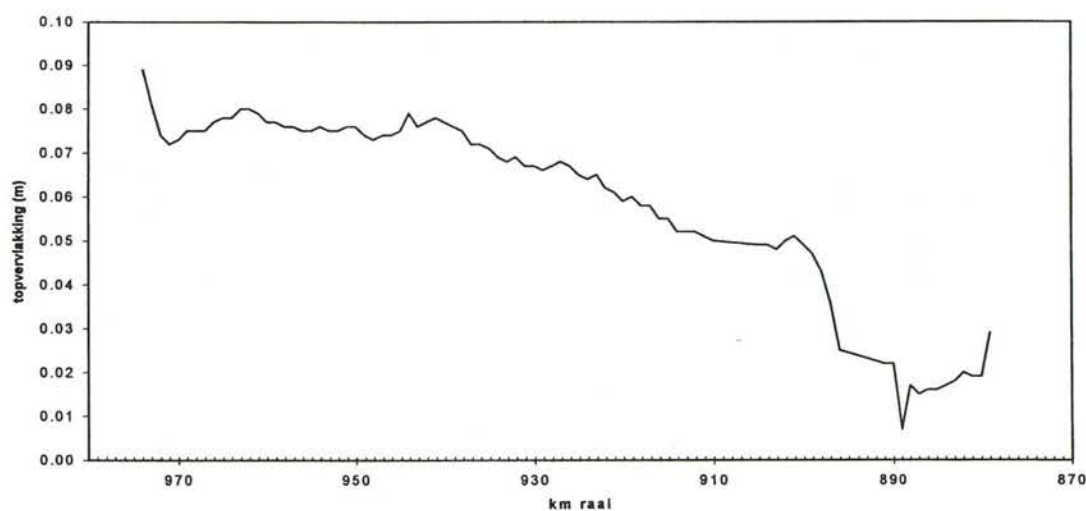
Figuur 5-11 Topvervlakking op de Waal



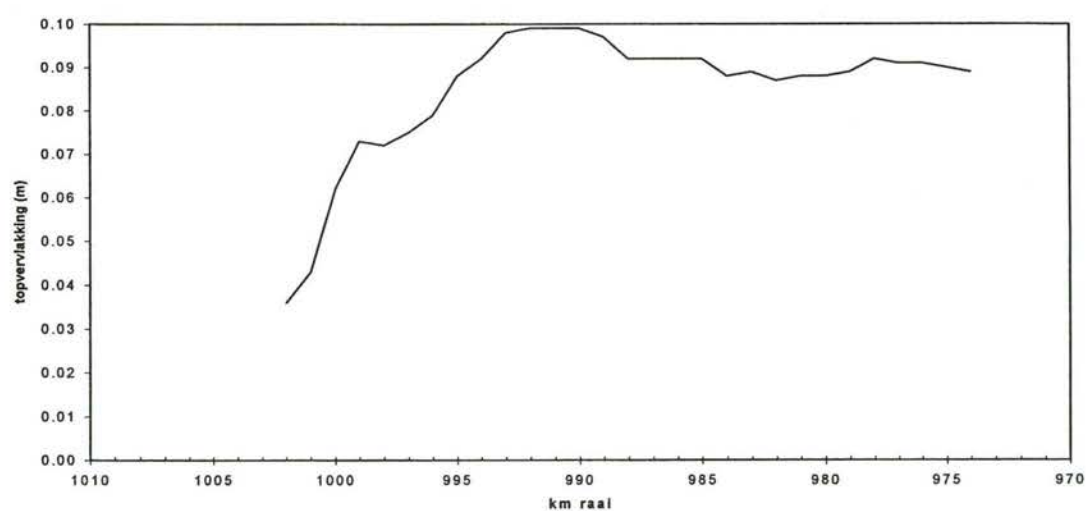
Figuur 5-12 Topvervlakking op het Pannerdensch Kanaal



Figuur 5-13 Topvervlakking op de Neder-Rijn



Figuur 5-14 Topvervlakking op de IJssel



Figuur 5-15 Topvervlakking op de IJsseldelta

5.5 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'. De commissie geeft ook aan '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'.

Het waterstandsverschil bij een maatgevende afvoer van 15.000 m³/s tussen 1981 en 1991, gerealiseerd door morfologische verandering wordt de Boertienruimte genoemd. Indien deze Boertienruimte wordt meegenomen in de actuele taakstelling dan betekent dit dat de taakstelling vaak feitelijk lager komt te liggen.

De Boertienruimte is verkregen door het verschil te nemen tussen waterstanden die op twee manieren zijn berekend:

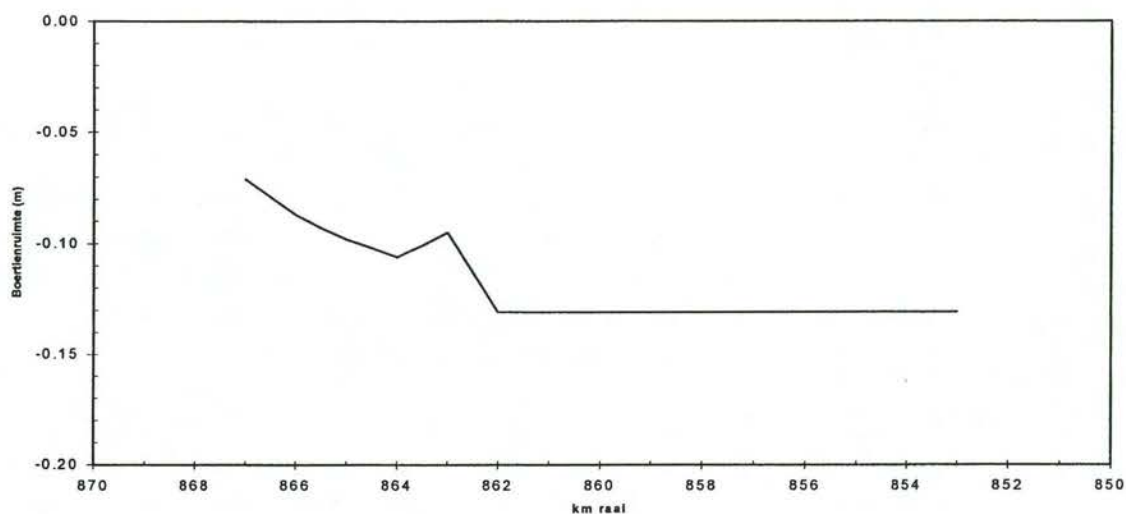
1. een dynamische berekening bij 15.000 m³/s met de bodemgeometrie van 1981; en
2. een soortgelijke berekening met de geometrie van 1991.

Bij alle in het kader van de Spankrachtstudie berekende hydraulische taakstellingen is impliciet gebruik gemaakt van de Boertienruimte. Immers, de taakstelling is berekend als het verschil van:

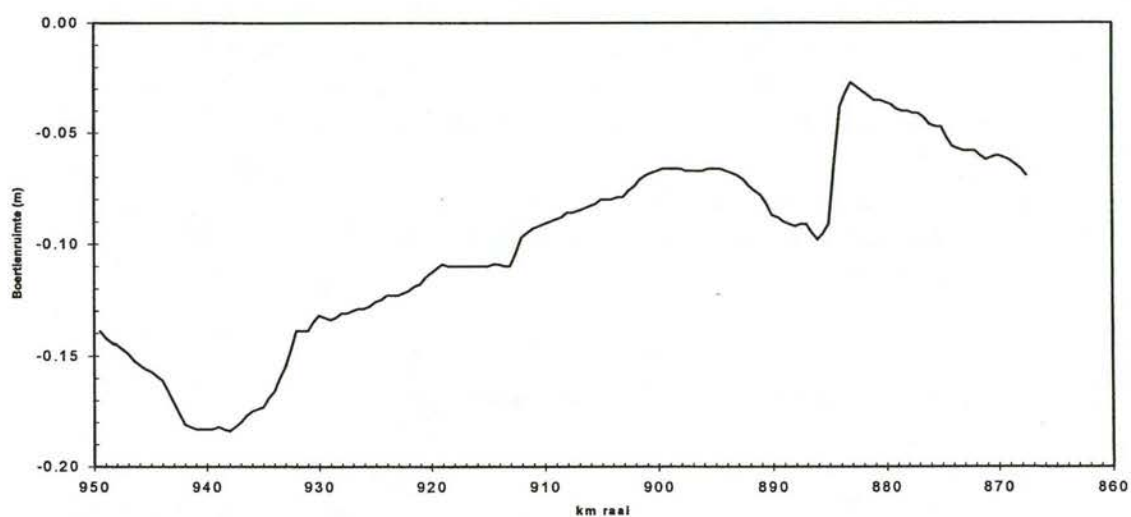
- waterstanden berekend (bij een hogere afvoer) met gebruik van de laatst bekende bodemgeometrie (1995/1997); en
- waterstanden uit HR1996, gebaseerd op een bodem uit 1981.

In de taakstelling in de Blokkendoos is enerzijds de topvervlakking verwerkt, en is anderzijds de Boertienruimte opgeteld. Als de gebruiker van de Blokkendoos er voor kiest om de Boertienruimte te verrekenen, dan daalt daardoor de taakstelling in de Blokkendoos.

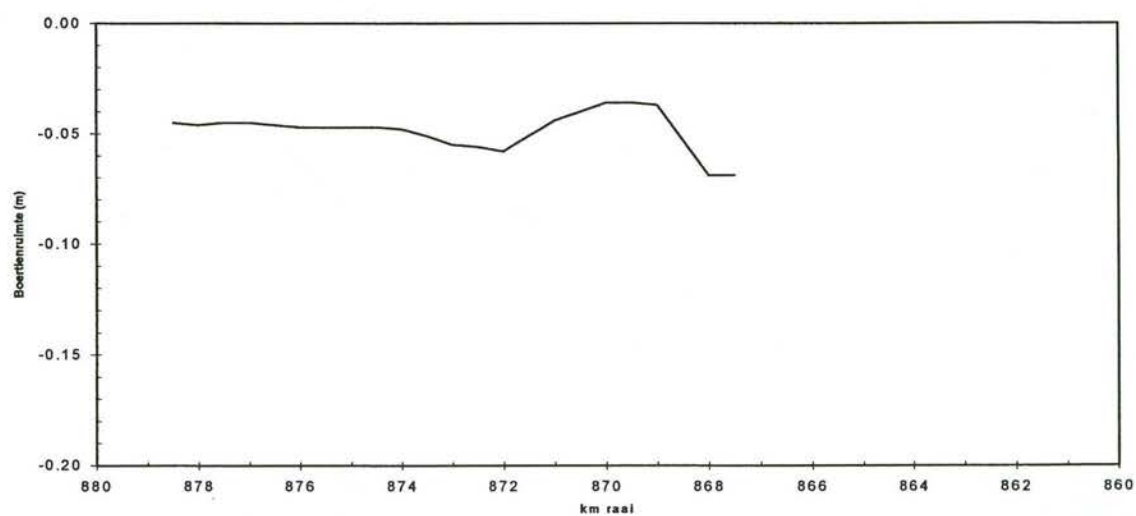
Figuur 5-16 tot en met Figuur 5-21 geeft de Boertienruimte voor de Rijntakken.



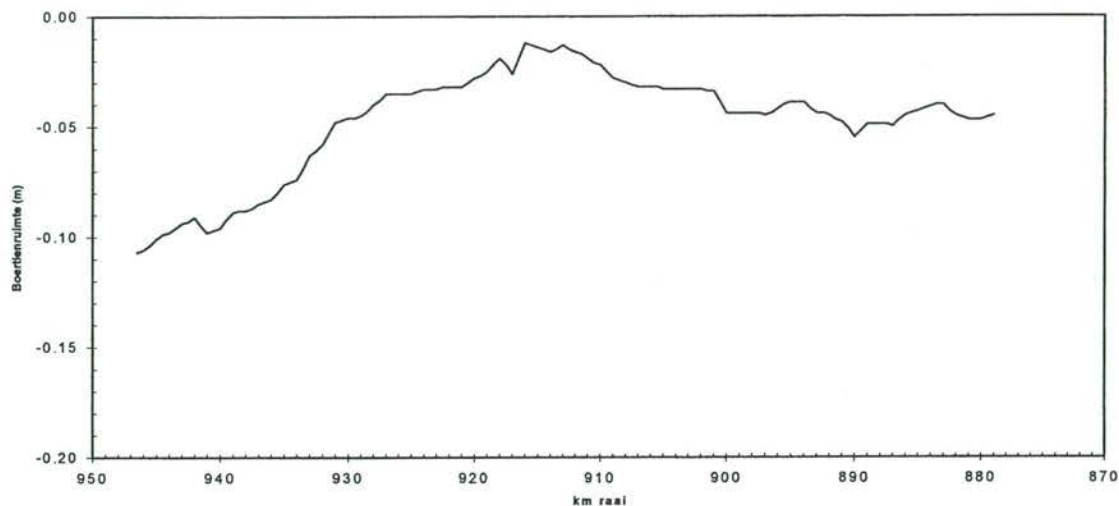
Figuur 5-16 Boertienruimte in de Boven-Rijn



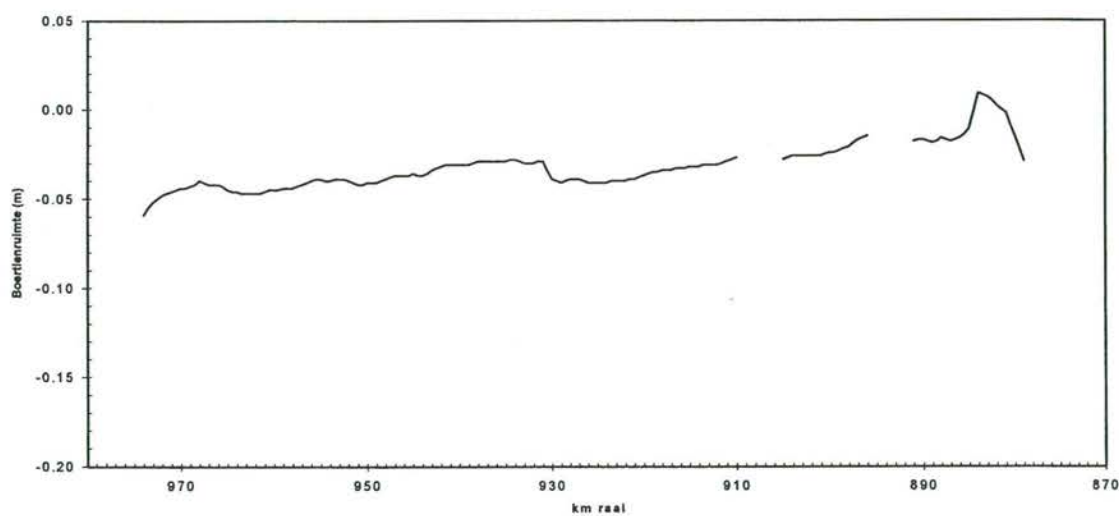
Figuur 5-17 Boertienruimte in de Waal



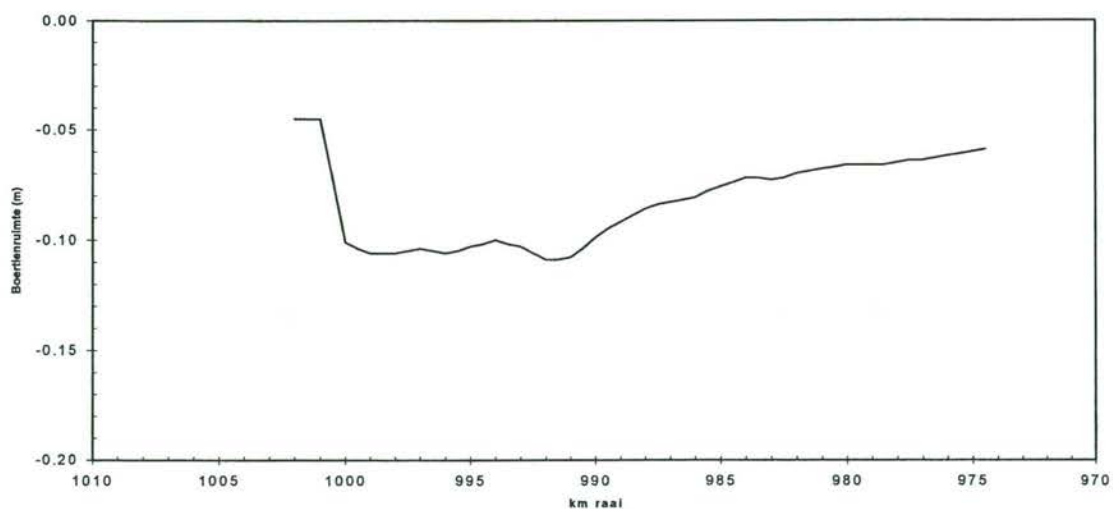
Figuur 5-18 Boertienruimte in het Pannerdensch Kanaal



Figuur 5-19 Boertienruimte in de Neder-Rijn



Figuur 5-20 Boertienruimte in de IJssel (door bochtafsnijdingen ontbreken enkele rivierkilometers)



Figuur 5-21 Boertienruimte in de IJsseldelta

6 Zijdelingse toestroming

6.1 Inleiding

Voor de Rijntakken is voor de bepaling van MHW's een aantal standaardafvoergolven te Lobith gedefinieerd (applicatie HKV). Voor het BOR-gebied worden de MHW's vastgesteld met WAQUA en kan feitelijk volstaan worden met één berekening; namelijk de berekening met een standaardafvoergolf met een topafvoer bij Lobith van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Voor het BER-gebied worden de MHW-'s vastgesteld met combinaties van rivierafvoeren en zee-waterstanden. Vanwege het grote aantal sommen dat daarvoor gemaakt moet worden, wordt gebruikgemaakt van het 1D-model SOBEK en wordt gerekend met permanente afvoeren.

In de Spankrachtstudie wordt onderzocht welke (on)mogelijkheden er zijn om een Rijnafvoer van $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ 'veilig' te verwerken van Lobith naar zee. Ook bij de Spankrachtstudie wordt gebruikgemaakt van permanente afvoeren.

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze waarop de standaardgolven bij Lobith op een eenduidige wijze vertaald kunnen worden naar permanente afvoeren.

De randvoorwaarden voor het BOR-gebied zijn vastgelegd in spreadsheets RVW_RYN.xls en RVW_RYN_AANV.xls (van der Veen, 2001). De spreadsheets geven per standaardgolf het afvoerloop bij Lobith; en het bij de standaardgolf behorende laterale debiet.

6.2 Uitwerking

Voor de vertaling van de standaardafvoergolven naar permanenties zijn een aantal mogelijkheden denkbaar: (1) maximumvariant; (2) correctie voor laterale toestroming; en (3) correctie voor laterale toestroming en topvervlakking.

Maximumvariant

Bij de maximumvariant wordt de afvoer bij Lobith als permanente afvoer gehanteerd en wordt van elk lateraal debiet de maximale afvoer als lateraaldebiet opgenomen. Nadeel van deze methode is dat de grotere laterale instromingen langs de IJssel met een te hoge afvoer worden meegenomen omdat bij passage van de afvoertop op de rivier, de laterale bijdrage minder dan maximaal is. Tabel 6-1 geeft een overzicht van de op deze wijze bepaalde laterale debieten voor de standaardgolf $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith

Tabel 6-1 Laterale toestroming in maximumvariant, bij een afvoer te Lobith van 16.000 m³/s

maximale afvoer Qlat (m ³ /s)	km-raai	tak	X-coord	Y-coord	naam
15.46	883.00	WL	188712	429608	Hollands-Duits gemaal/Nijmegen
10.67	957.40	WL	123840	426723	Land van Altena
7.77	873.00	PK	196701	435809	gemaal Kandia
1.84	883.40	NL	190591	443315	Arnhem c.a.
15.60	896.80	NL	178920	442347	Heelsumse beek c.a.
1.32	902.00	NL	174212	440555	G.J.H. Kuykgemaal (ontlasting Linge)
-6.13	928.50	NL	152004	441754	Gemaal H.A. van Beuningen (ontlasting Linge)
9.10	965.00	NL	123649	441024	Lopikerwaard
12.63	986.30	NL	105042	433678	Bergambacht en de overwaard
1.50	886.10	IJ	197953	445466	Rozendaalsche en Beekhuizerbeek
12.09	899.90	IJ	204759	445855	Liemers en Bevermeer
89.27	901.00	IJ	205394	446749	Oude IJssel
11.97	916.30	IJ	208435	454441	Leuvenheimsche, Soerensche en Groote beek
28.07	922.20	IJ	211905	457604	diverse beken en gemalen kmr 920 - 930
103.60	931.00	IJ	209938	464603	Twentekanaal + diverse beken
10.48	935.00	IJ	207916	467169	diverse beken en gemalen kmr 930 - 940
15.83	946.20	IJ	206285	474751	diverse beken en gemalen kmr 944 - 957
30.76	977.30	IJ	201815	499410	diverse beken en gemalen kmr 975 - 985
3.98	992.40	IJ	192774	505831	diverse beken en gemalen kmr 987 -1002
375.83					Totaal

Correctie laterale toestroming

Bij deze variant wordt de afvoer bij Lobith als permanente afvoer gehanteerd. Voor elke laterale toestroming wordt de bijdrage aan de rivier bepaald op het moment dat lokaal de afvoertop op de rivier passeert. Dit laterale debiet wordt berekend met het 1D-model SOBEK en modelschematisatie SOBEK-Rijn versie 2000.3 (calibratienota SOBEK in voorbereiding). Nadeel van deze methode is dat de topvervlakking langs de rivier nog steeds verwaarloosd wordt. Tabel 6-2 geeft een overzicht van de op deze wijze bepaalde laterale debieten voor de standaardgolf 16.000 m³/s bij Lobith.

Tabel 6-2 Laterale toestroming bij correctie debieten, bij een afvoer te Lobith van 16.000 m³/s

afvoer Qlat bij passage max afvoer rivier (m ³ /s)	maximale afvoer Qlat (m ³ /s)	verschil (m ³ /s)	km-raai	X-coord	Y-coord	naam
12.59	15.46	-2.88	883.00	188712	429608	Hollands-Duits gemaal/Nijmegen
8.16	10.67	-2.52	957.40	123840	426723	Land van Altena
6.46	7.77	-1.31	873.00	196701	435809	gemaal Kandia
1.53	1.84	-0.31	883.40	190591	443315	Arnhem c.a.
12.73	15.60	-2.87	896.80	178920	442347	Heelsumse beek c.a.
0.00	1.32	-1.31	902.00	174212	440555	G.J.H. Kuykgemaal (ontlasting Linge)
-8.42	-6.13	-2.30	928.50	152004	441754	Gemaal H.A. van Beuningen (ontlasting Linge)
6.81	9.10	-2.29	965.00	123649	441024	Lopikerwaard
9.68	12.63	-2.95	986.30	105042	433678	Bergambacht en de overwaard
1.24	1.50	-0.26	886.10	197953	445466	Rozendaalsche en Beekhuizerbeek
10.06	12.09	-2.04	899.90	204759	445855	Liemers en Bevermeer
71.00	89.27	-18.26	901.00	205394	446749	Oude IJssel
9.20	11.97	-2.77	916.30	208435	454441	Leuvenheimsche, Soerensche en Groote beek

afvoer Qlat bij passage max afvoer rivier (m ³ /s)	maximale afvoer Qlat (m ³ /s)	verschil (m ³ /s)	km-raai	X-coord	Y-coord	naam
21.57	28.07	-6.51	922.20	211905	457604	diverse beken en gemalen kmr 920 - 930
74.25	103.60	-29.35	931.00	209938	464603	Twentekanaal + diverse beken
8.06	10.48	-2.43	935.00	207916	467169	diverse beken en gemalen kmr 930 - 940
12.08	15.83	-3.75	946.20	206285	474751	diverse beken en gemalen kmr 944 - 957
21.98	30.76	-8.78	977.30	201815	499410	diverse beken en gemalen kmr 975 - 985
2.83	3.98	-1.14	992.40	192774	505831	diverse beken en gemalen kmr 987 -1002
281.80	375.83	-94.03				Totaal

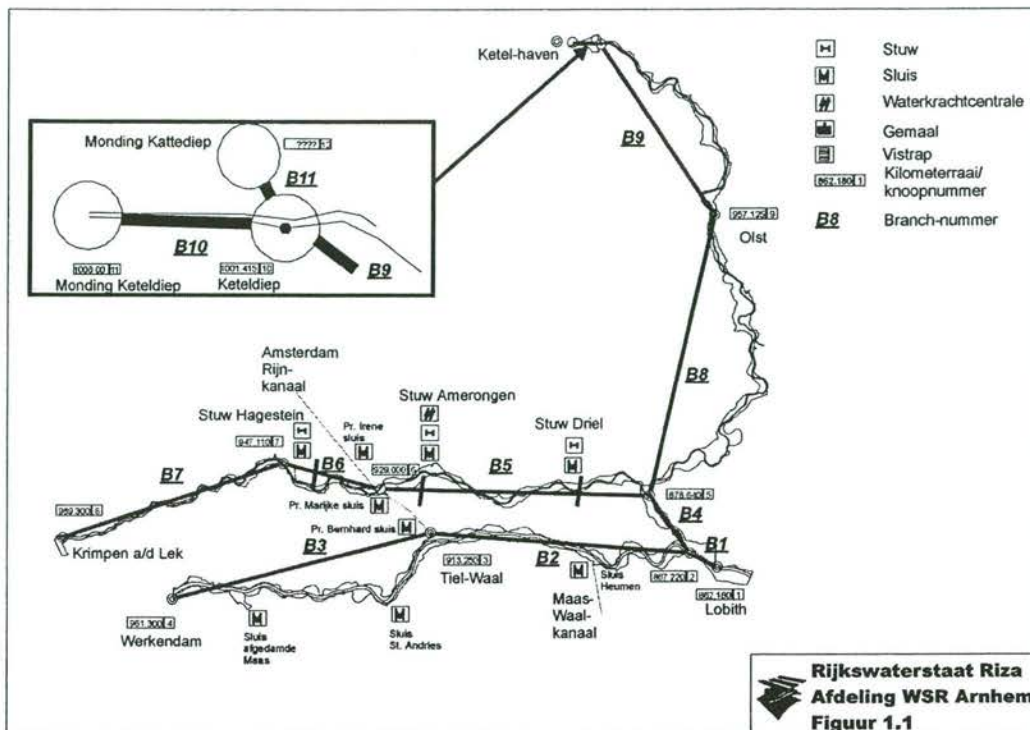
Correctie laterale toestroming en topvervlakking

Bij deze variant wordt de afvoer bij Lobith als permanente afvoer gehanteerd. Voor elke laterale toestroming wordt de bijdrage aan de rivier bepaald op het moment dat lokaal de afvoertop op de rivier passeert. Dit laterale debiet wordt berekend met het 1D-model SOBEK en modelschematisatie SOBEK-Rijn versie 2000.3 [calibratienota SOBEK in prep.]. Uit de SOBEK resultaten wordt de topvervlakking per branch berekend. Deze topvervlakking wordt vervolgens als een diffuus lateraal debiet opgelegd in SOBEK.

Nadeel van deze methode is dat de door SOBEK berekende topvervlakking minder goed is dan de door WAQUA berekende topvervlakking. Bovendien is topvervlakking bij uitstek een dynamisch fenomeen wat eigenlijk niet thuis hoort in een permanentie. Verder worden in het kader van de Spankrachtstudie een groot aantal rivierverruimende maatregelen overwogen. Deze maatregelen hebben elk een eigen invloed op de topvervlakking. Figuur 6-1 geeft een overzicht van het SOBEK-model. Tabel 6-3 geeft een overzicht van de door SOBEK berekende topvervlakking per branch

Tabel 6-3 Topvervlakking per branch volgens SOBEK

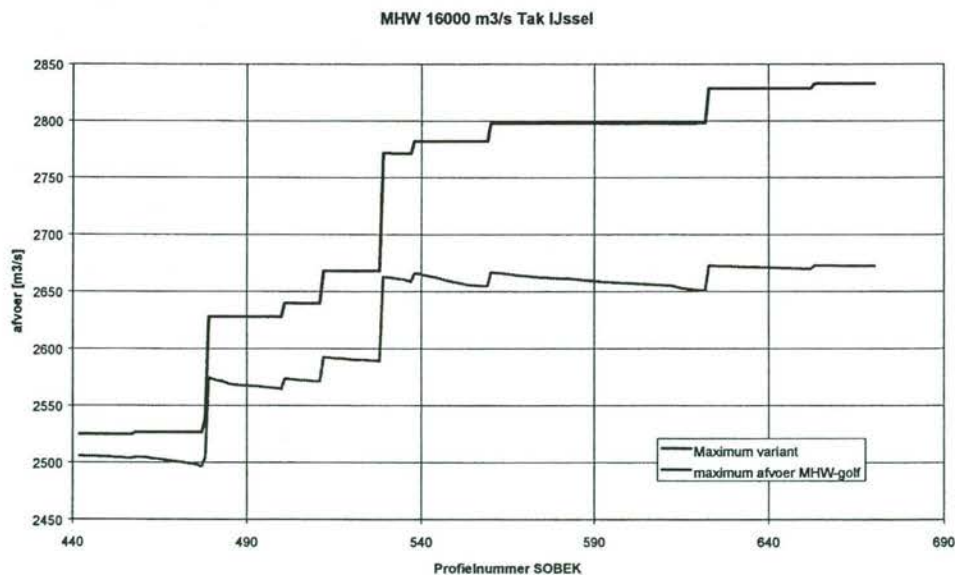
Riviertak	branch		van	tot	van	tot	topver- vlakking (m ³ /s)	lengte (m)
	nr.	naam						
Boven-Rijn	1	Boven-Rijn	Lobith	Pannerdensche Kop	862.180	867.060	-23,24	4.814
Waal	2	Waal_1	Pan. Kop	Tiel Waal	867.060	913.440	-80,66	45.719
Waal	3	Waal_2	Tiel Waal	Werkendam	913.440	961.160	-25,96	46.761
Pan. Kanaal	4	Pankanaa	Pan. Kop	IJsselkop	867.060	878.590	-10,90	11.347
Neder-Rijn	5	Nederryn	IJsselkop	kmr 929	878.590	929.000	-36,99	48.494
Lek	6	Lek_1	kmr 929	kmr 947.360	929.000	947.360	-12,49	18.279
Lek	7	Lek_2	kmr 947.360	Krimpen a/d Lek	947.360	988.580	-8,77	40.639
IJssel	8	IJssel_1	IJsselkop	Olst	878.590	957.100	-51,41	69.191
IJssel	9	IJssel_2	Olst	Keteldiep	957.100	1001.415	-14,18	44.296
Keteldiep	10	Keteldie	Keteldiep	monding Keteldiep	1001.415	monding	-0,07	4.531
Kattediep	11	Kattedie	Keteldiep	monding Kattediep	1001.415	monding	-0,01	882



Figuur 6-1 Overzicht SOBEK-model

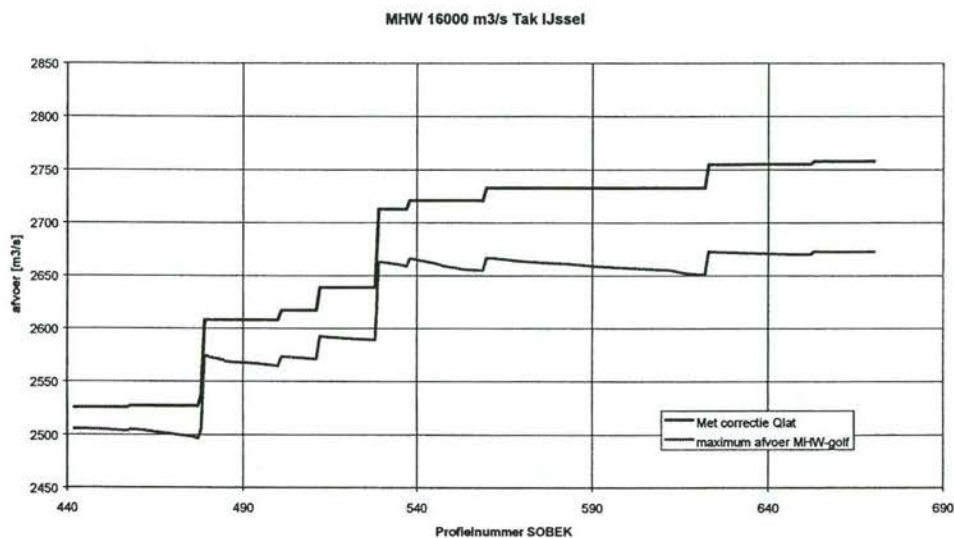
6.3 Bepaling keuze

Op grond van de grote verschillen tussen het afvoerverloop op de IJssel bij de maximum-variant en de berekening met de standaardafvoergolf wordt de maximumvariant als ongeschikt beschouwd zoals ook afgeleid kan worden uit Figuur 6-2.



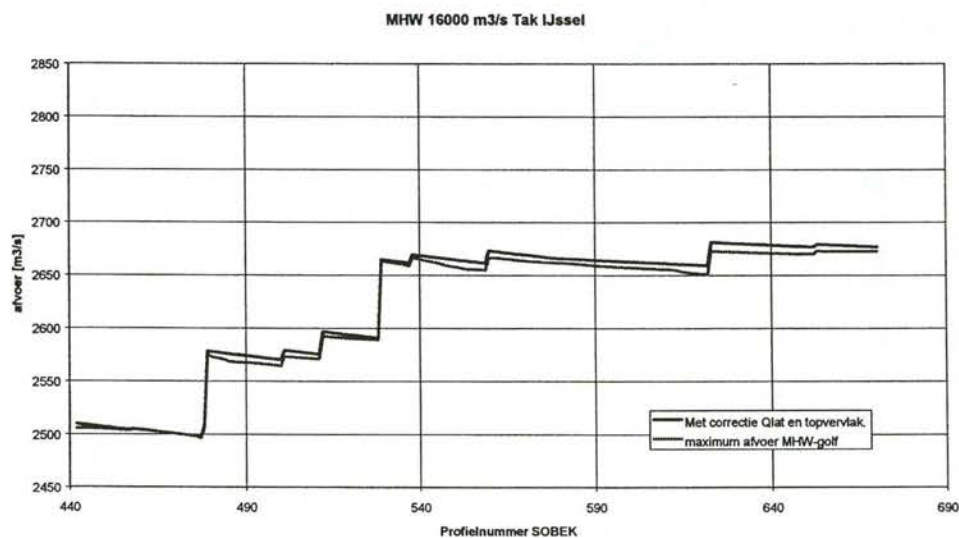
Figuur 6-2 Maximumvariant op de IJssel vergeleken met standaardafvoergolf

Figuur 6-3 geeft het effect weer van de correctie van de afvoer op de IJssel. Uit de figuur kan afgeleid worden dat de verschillen al belangrijk kleiner geworden zijn



Figuur 6-3 Correctie laterale toestroming op de IJssel vergeleken met standaardafvoergolf

Als ook de topvervlakking verdisconteerd wordt zijn de verschillen marginaal zoals zichtbaar is in Figuur 6-4.



Figuur 6-4 Correctie laterale toestroming en topvervlakking op de IJssel vergeleken met standaardafvoergolf

In de navolgende Figuur 6-5 tot en met Figuur 6-9 is per tak het effect zichtbaar gemaakt van de keuze voor mogelijkheid 2 of mogelijkheid 3. Elke figuur is opgebouwd uit een deelfiguur voor het afvoerverloop met daarin:

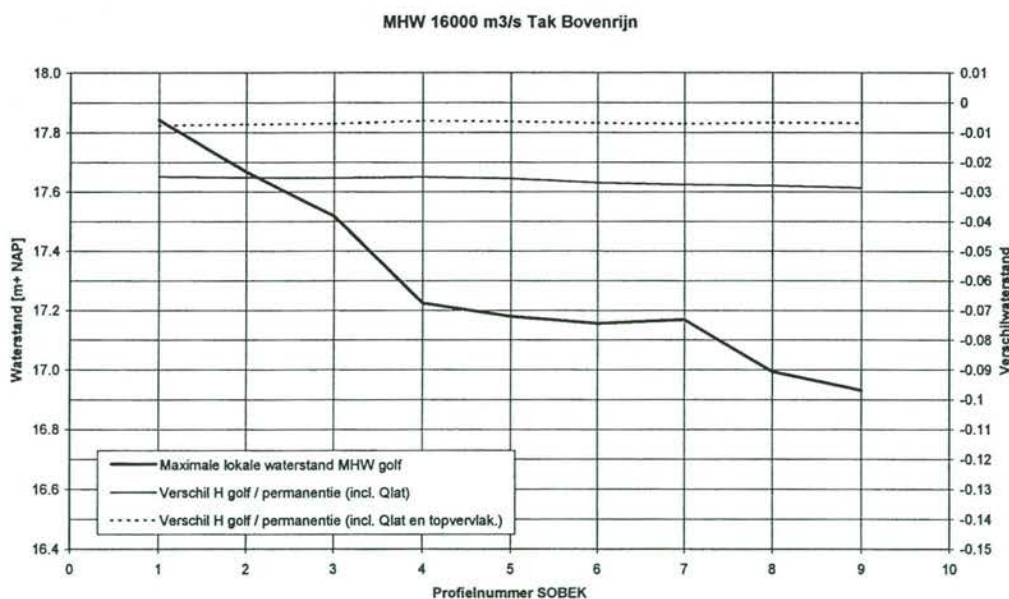
- maximale lokale afvoer per SOBEK-profiel bij berekening met een afvoergolf;
- verschilafvoer Q golf / en Q permanentie met correctie van Qlat; en
- verschilafvoer Q golf / en Q permanentie met correctie van Qlat en topvervlakking.

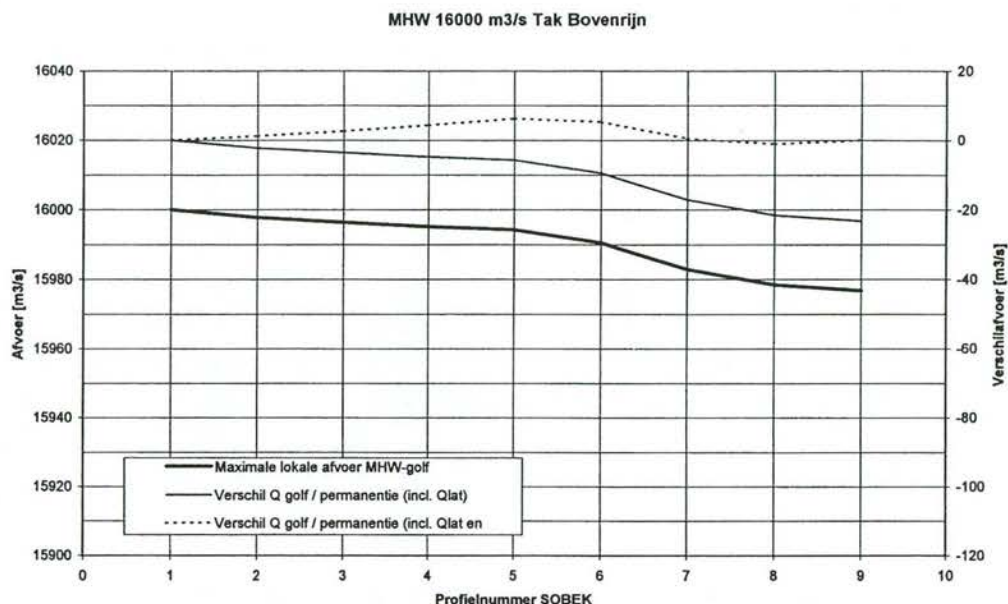
De tweede deelfiguur heeft betrekking op het waterstandsverloop met daarin:

- maximale lokale waterstand per SOBEK-profiel bij berekening met een afvoergolf;
- verschilwaterstand Q golf / en Q permanentie met correctie van Qlat; en
- verschilwaterstand Q golf / en Q permanentie met correctie van Qlat en topvervlakking.

Uit Figuur 6-5 voor de Boven-Rijn kan afgeleid worden dat:

1. de Boven-Rijn heeft een relatief zeer grote topvlakking (ca. $-4.83 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$); dit hangt samen met de vorm van de standaardgolf waarin de maximum afvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ slechts in 1 uurwaarde bereikt wordt (T-1 uur $-23 \text{ m}^3/\text{s}$ en T+1 uur $-12 \text{ m}^3/\text{s}$);
2. in variant 2 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch ca. 0.03 m hoger berekend dan bij de afvoergolf;
3. in variant 3 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch minder dan ca. 0.01 m hoger berekend dan bij de afvoergolf; en
4. op grond van het verschil tussen de varianten 2 en 3 kan gesteld worden dat ca. 0.02 m van de verschillen tussen golf en permanentie worden veroorzaakt door de spitse golfvorm nabij de afvoertop.

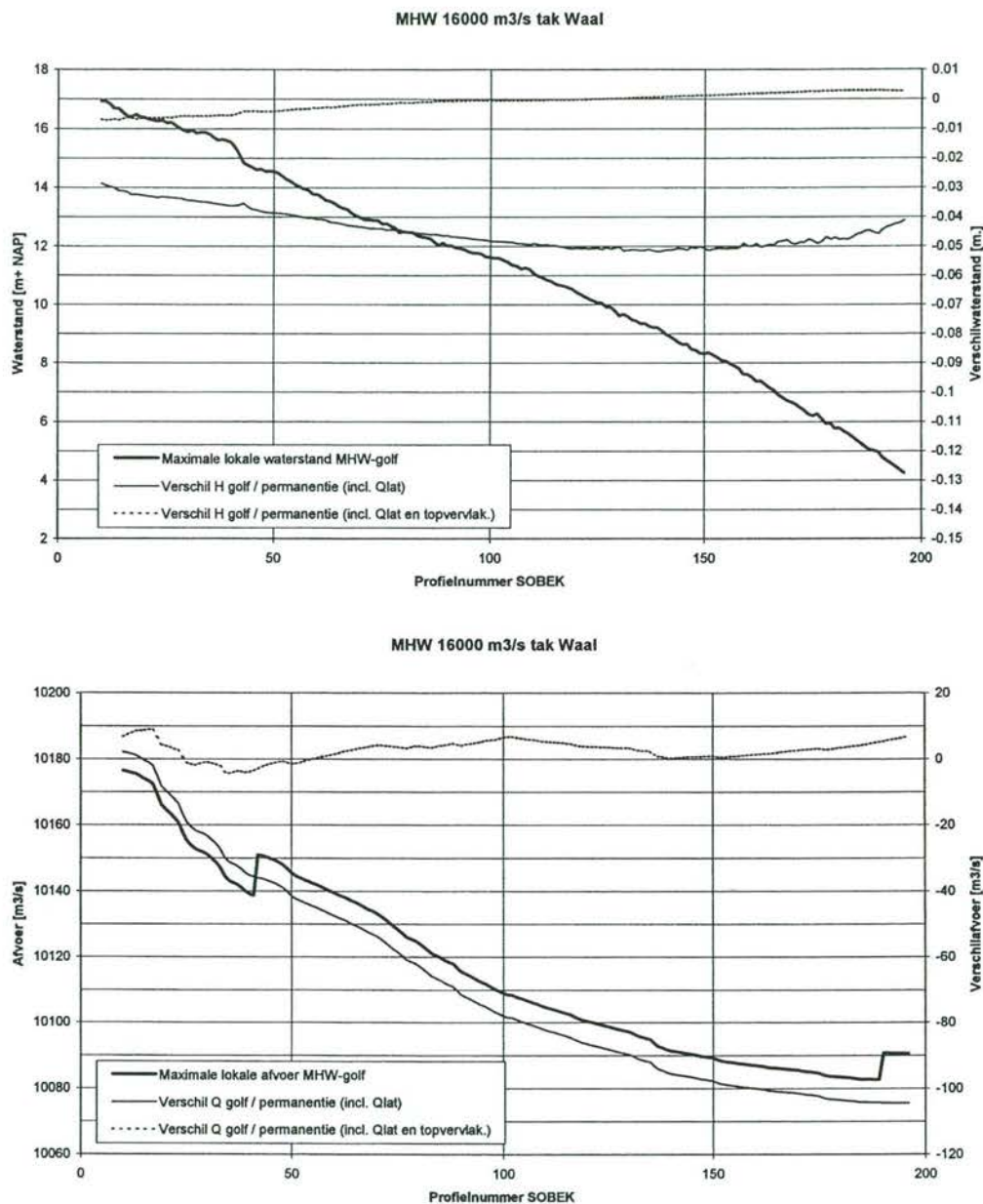




Figuur 6-5 Boven-Rijn

Uit Figuur 6-6 voor de Waal kan afgeleid worden dat:

1. de Waal heeft in absolute zin een grote topvervlakking (ca. $-1.15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$);
2. in de permanenties is de afvoer richting Waal systematisch iets lager ($2 \text{ m}^3/\text{s}$ in variant 2; en ca. $7 \text{ m}^3/\text{s}$ in variant 3) dan in de berekening met de afvoergolf;
3. nabij de benedenrand neemt het effect van de topvervlakking op de waterstand af;
4. in variant 2 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch ca. $0.03 - 0.05 \text{ m}$ hoger berekend dan bij de afvoergolf;
5. in variant 3 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch minder dan ca. 0.01 m hoger of lager berekend dan bij de afvoergolf; en
6. op grond van het gestelde voor de Boven-Rijn kan aannemelijk gemaakt worden dat ca. 0.02 m van de verschillen tussen golf en permanentie op de Waal worden veroorzaakt door de spitse golfvorm nabij de afvoertop en ca. 0.03 m door topvervlakking op de Waal.

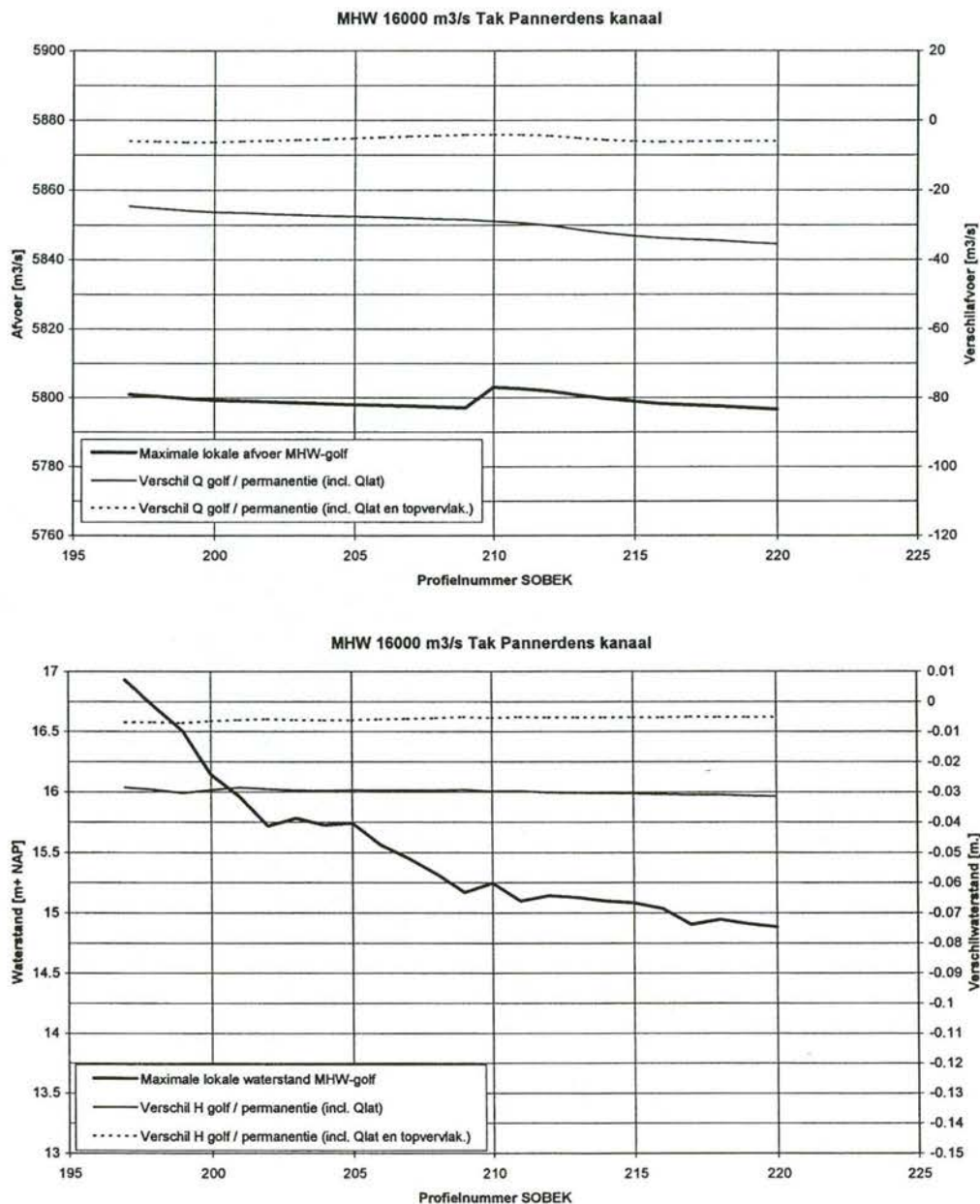


Figuur 6-6 Waal

Uit de figuur voor het Pannerdensch Kanaal (Figuur 6-7) kan afgeleid worden dat

1. het Pannerdensch Kanaal heeft een relatief grote topvervlakking (ca. $-0.96 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$);
2. in de permanenties is de afvoer richting Pannerdensch Kanaal systematisch hoger (25 m^3/s in variant 2; en ca. 6 m^3/s in variant 3) dan in de berekening met de afvoergolf;
3. over het Pannerdensch Kanaal varieert het effect op de waterstanden nauwelijks;
4. in variant 2 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch ca. 0.03 m hoger berekend dan bij de afvoergolf;
5. in variant 3 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch minder dan ca. 0.005 m hoger of lager berekend dan bij de afvoergolf; en
6. op grond van het gestelde voor de Boven-Rijn kan aannemelijk gemaakt worden dat ca. 0.02 m van de verschillen tussen golf en permanentie op het Pannerdensch Kanaal

worden veroorzaakt door de spitse golfvorm nabij de afvoertop en ca. 0.01 m door topvervlakking op het Pannerdensch Kanaal.

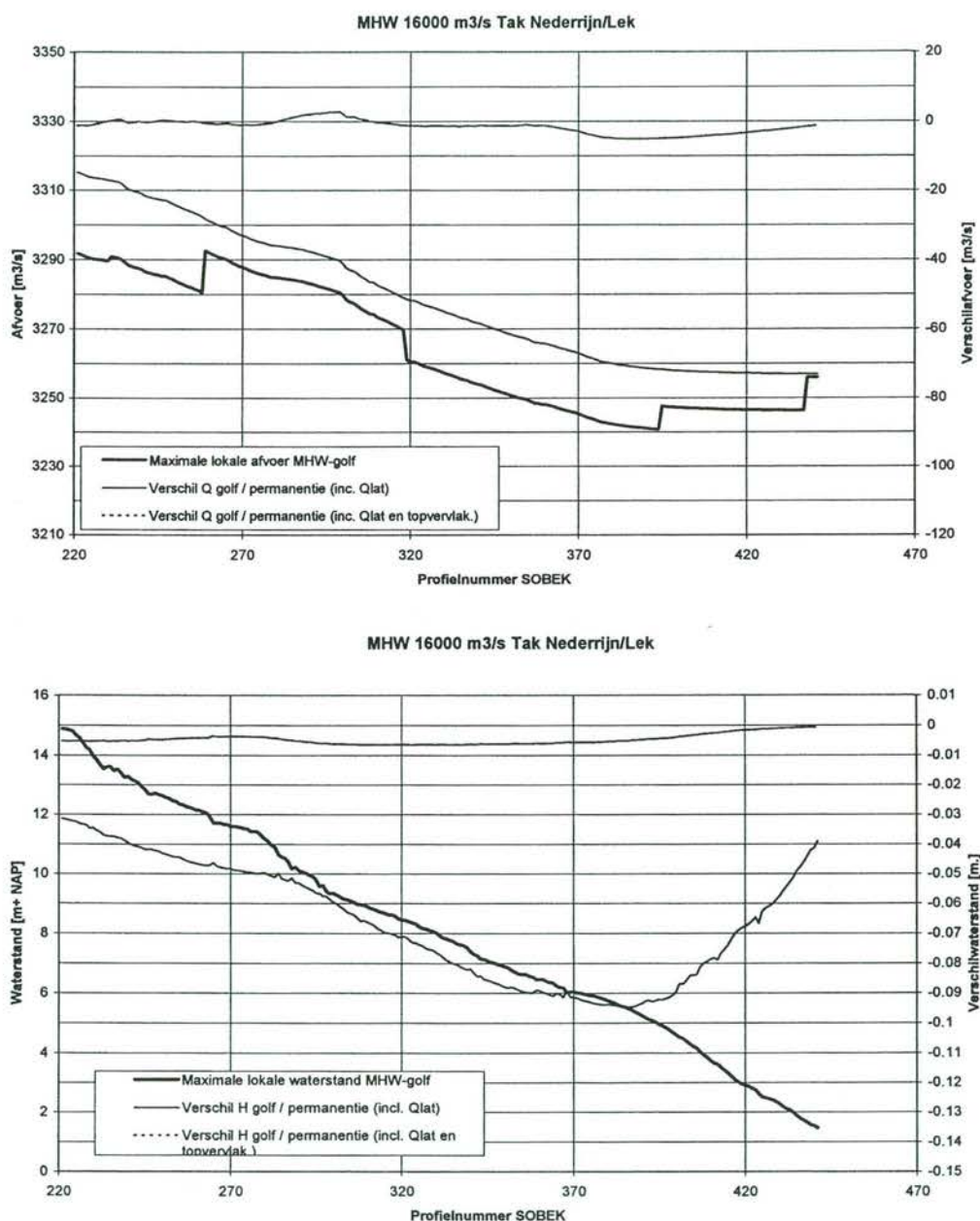


Figuur 6-7 Pannerdensch Kanaal

Uit Figuur 6-8 voor Neder-Rijn/Lek kan afgeleid worden dat:

1. de Neder-Rijn/Lek heeft een relatief kleine topvervlakking (ca. $-0.54 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$);
2. in de permanenties is de afvoer richting Neder-Rijn/Lek systematisch lager ($15 \text{ m}^3/\text{s}$ in variant 2; en ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ in variant 3) dan in de berekening met de afvoergolf;
3. nabij de benedenrand neemt het effect van de topvervlakking op de waterstand sterk af,
4. in variant 2 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch ca. 0.03 - 0.095 m hoger berekend dan bij de afvoergolf;

5. in variant 3 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch minder dan ca. 0.01 m hoger berekend dan bij de afvoergolf; en
6. op grond van het gestelde voor de Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal kan aannemelijk gemaakt worden dat ca. 0.03 m van de verschillen tussen golf en permanentie op de Neder-Rijn/Lek worden veroorzaakt door bovenstroomse topvervlakking en ca. 0.065 m door topvervlakking op Neder-Rijn/Lek.

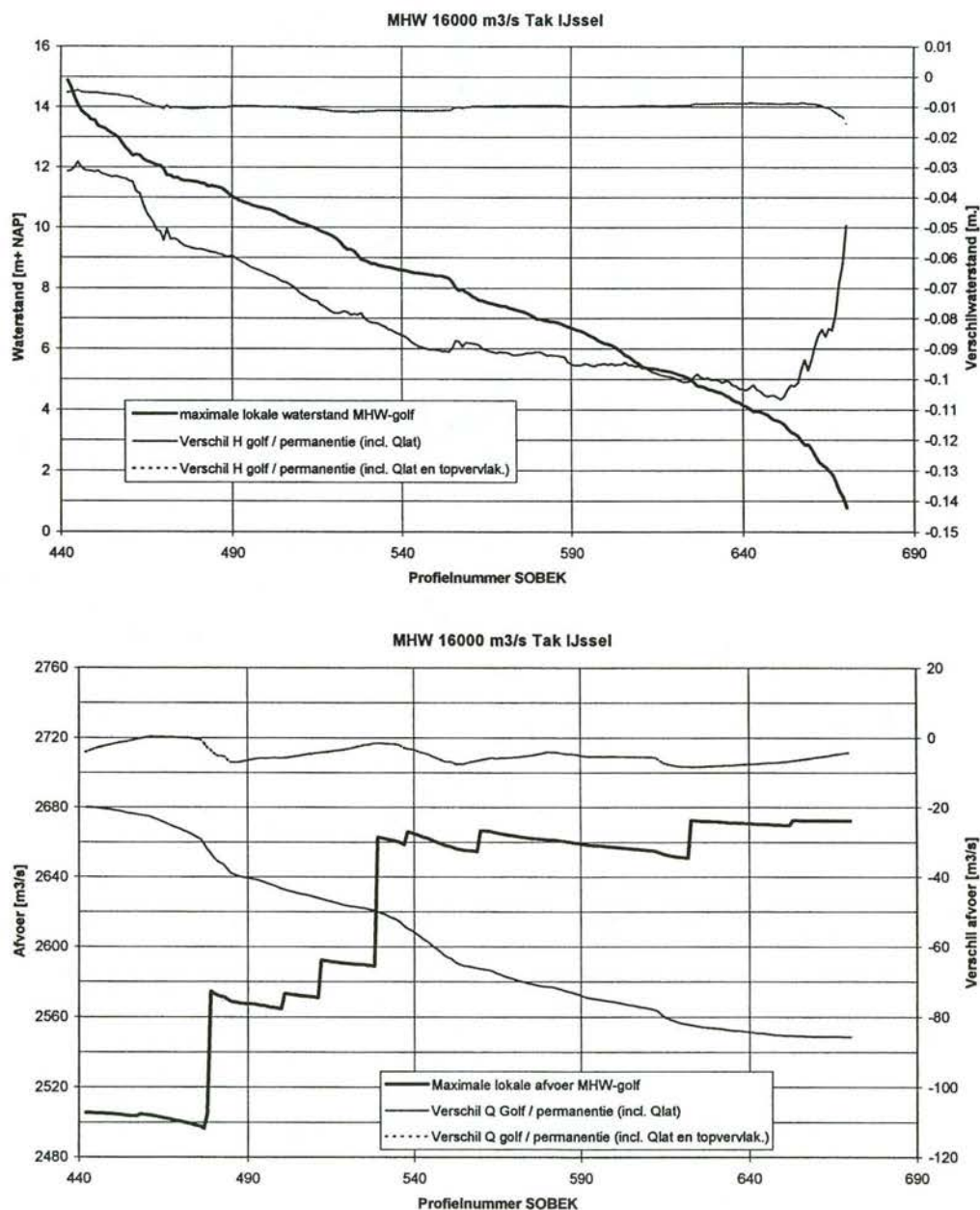


Figuur 6-8 Neder-Rijn/Lek

Uit Figuur 6-9 voor de IJssel kan afgeleid worden dat:

1. de IJssel heeft een relatief kleine topvervlakking (ca. $-0.58 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$);

2. in de permanenties is de afvoer richting IJssel systematisch lager ($20 \text{ m}^3/\text{s}$ in variant 2; en ca. $4 \text{ m}^3/\text{s}$ in variant 3) dan in de berekening met de afvoergolf;
3. nabij de benedenrand neemt het effect van de topvervlakking op de waterstand sterk af,
4. in variant 2 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch ca. $0.03 - 0.105 \text{ m}$ hoger berekend dan bij de afvoergolf;
5. in variant 3 worden de waterstanden bij een permanentie systematisch ca. $0.005 - 0.015 \text{ m}$ hoger berekend dan bij de afvoergolf; en
6. op grond van het gestelde voor de Boven-Rijn en Pannerdensch Kanaal kan aannemelijk gemaakt worden dat ca. 0.03 m van de verschillen tussen golf en permanentie op de IJssel worden veroorzaakt door bovenstroomse topvervlakking en ca. 0.075 m door topvervlakking op de IJssel.



Figuur 6-9 IJssel

Samenvattend overzicht

Tabel 6-4 vat de voornaamste conclusies bij Figuur 6-5 tot en met Figuur 6-9 samen. Gezien de beperkte verschillen in waterstand en het gegeven dat de topvervlakking een dynamisch effect is, gaat de voorkeur voor de vertaalslag van de standaardafvoergolven naar de permanente afvoeren uit naar variant 2. Tabel 6-5 geeft de op deze wijze voor vier afvoergolven bepaalde laterale debieten.

Bij het gebruik van dergelijke permanenties moet men zich realiseren dat (1) dynamische effecten verwaarloosd worden; (2) de absolute waterstanden systematisch iets te hoog zijn; en (3) de afvoerverdeling op splitsingspunten systematisch iets verlegd wordt naar de minst grote tak op het splitsingspunt.

Tabel 6-4 Samenvatting conclusies bij Figuur 6-5 tot en met Figuur 6-9

Riviertak	locatie	verschil afvoer golf – perm (m ³ /s)		verschil waterstand golf – perm (m)		aandeel maximale topvervlakking	
		variant 2	variant 3	variant 2	variant 3	bovenstr.	eigen deel
Boven-Rijn	Lobith	0	0	-0.025	-0.008		
	Pannerdensche Kop	-23	0	-0.029	-0.007	0.02	0.01
Waal	Pannerdensche Kop	2	7	-0.029	-0.007		
	Tiel	-79	7	-0.048	0.000		
	Werkendam	-105	7	-0.041	0.003	0.02	0.02
Pannerdensch Kanaal	Pannerdensche Kop	-25	-6	-0.029	-0.007		
	IJsselkop	-36	-6	-0.031	-0.005	0.02	0.01
Neder-Rijn / Lek	IJsselkop	-15	-1	-0.031	-0.005		
	kmr 929	-52	-1	-0.071	-0.006		
	kmr 947.36	-64	-1	-0.089	-0.006		
	Krimpen a/d Lek	-73	-1	-0.039	-0.001	0.03	0.065
IJssel	IJsselkop	-20	-4	-0.031	-0.005		
	Olst	-71	-4	-0.091	-0.010		
	Keteldiep	-86	-4	-0.049	-0.015	0.03	0.075

Tabel 6-5 Permanenties

afvoer Qlat bij passage max afvoer rivier naam	afvoer Lobith (m ³ /s)				km-raai	X-coord	Y-coord
	6.000	7.000	16.000	18.000			
Hollands-Duits gemaal/Nijmegen	2.64	3.63	12.59	14.39	883.00	188712	429608
Land van Altena	1.71	2.33	8.16	9.25	957.40	123840	426723
totaal Waal				23.65			
gemaal Kandia	1.98	2.45	6.46	7.31	873.00	196701	435809
totaal Pannerdensch Kanaal				7.31			
Arnhem c.a.	0.49	0.60	1.53	1.74	883.40	190591	443315
Heelsumse beek c.a.	3.00	4.09	12.73	14.43	896.80	178920	442347
G.J.H. Kuykgemaal (ontlasting Linge)	0.00	0.00	0.00	0.85	902.00	174212	440555
Gemaal H.A. van Beuningen (ontlasting Linge)	-12.44	-12.37	-8.42	-7.41	928.50	152004	441754
Lopikerwaard	1.28	1.87	6.81	7.75	965.00	123649	441024
Bergambacht en de overwaard	2.78	3.45	9.68	10.99	986.30	105042	433678
totaal Neder-Rijn / Lek				28.34			
Rozendaalsche en Beekhuizerbeek	0.39	0.47	1.24	1.41	886.10	197953	445466
Liemers en Bevermeer	3.10	3.74	10.06	11.38	899.90	204759	445855
Oude IJssel	22.95	27.52	71.00	80.20	901.00	205394	446749
Leuvenheimsche, Soerensche en Groote Beek	2.49	3.20	9.20	10.44	916.30	208435	454441
diverse beken en gemalen kmr 920 - 930	6.38	7.96	21.57	24.44	922.20	211905	457604
Twentekanaal + diverse beken	20.99	25.96	74.25	84.18	931.00	209938	464603
diverse beken en gemalen kmr 930 - 940	2.51	3.07	8.06	9.13	935.00	207916	467169
diverse beken en gemalen kmr 944 - 957	3.16	4.05	12.08	13.71	946.20	206285	474751
diverse beken en gemalen kmr 975 - 985	6.21	7.93	21.98	24.99	977.30	201815	499410
diverse beken en gemalen kmr 987 -1002	0.39	0.64	2.83	3.23	992.40	192774	505831
totaal IJssel				263.11			
totaal alle Rijntakken				322.41			

7 Overhoogte van dijken in het BOR-gebied

In het verleden is door wijzigingen in inzichten het veiligheidsniveau aan verandering onderhevig geweest. Dit heeft ook geleid tot een wijziging van de maatgevende afvoer. Tabel 7-1 geeft een overzicht van deze ontwikkeling.

Tabel 7-1 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

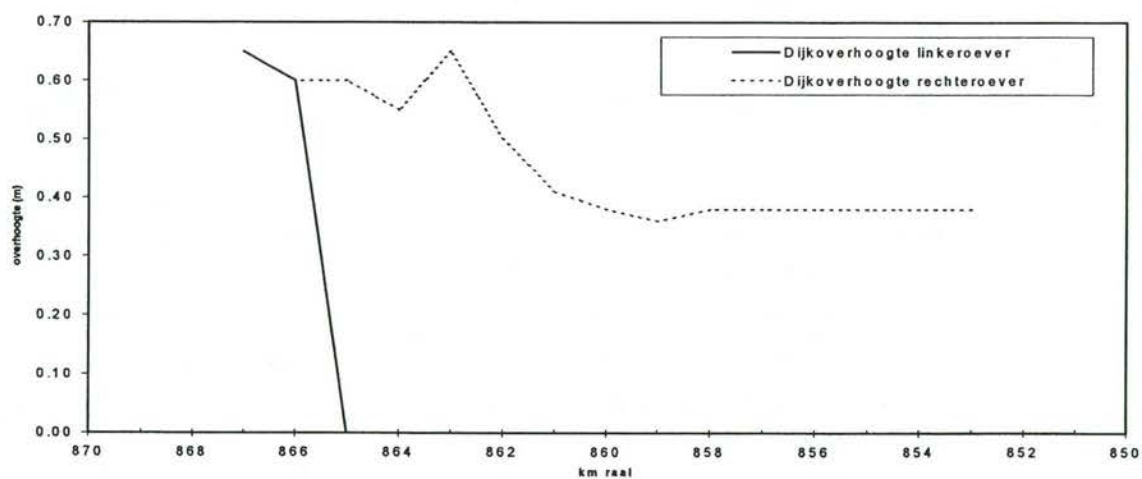
De hogere maatgevende afvoeren in het verleden hebben ertoe geleid dat op sommige locaties dijken aan de rechter en / of linkeroever hoger zijn aangelegd dan nodig voor het 15.000 m³/s veiligheidsniveau. Naast de hogere veiligheidsniveaus uit het verleden zijn andere verklaringen voor deze dijkoverhoogtes:

- dat er in de zestiger en zeventiger jaren andere uitgangspunten zijn gehanteerd voor het dijkontwerp; en
- 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.

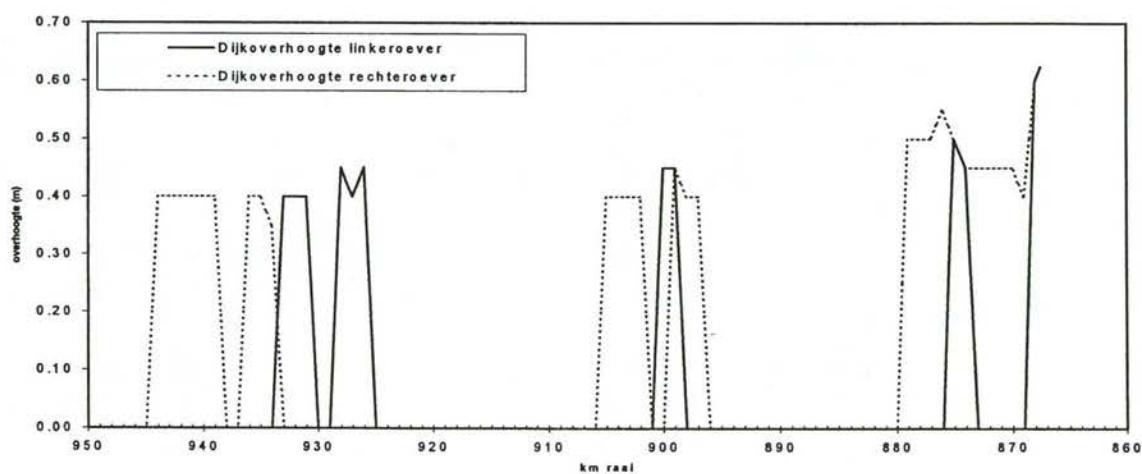
In gebieden waar deze dijkoverhoogtes reeds aanwezig zijn kan eerder het nieuw te hantieren veiligheidsniveau worden gehaald als rekening met deze dijkoverhoogten wordt gehouden. Van RIZA is een spreadsheet ontvangen met de huidige dijkoverhoogtes per kilometer aan de linker en rechteroever ten opzichte van de waterstanden uit HR1996 bij 15.000 m³/s (en ook ten opzichte van 16.050 m³/s).

Afhankelijk van de wens van de gebruiker kan in de Blokkendoos 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.

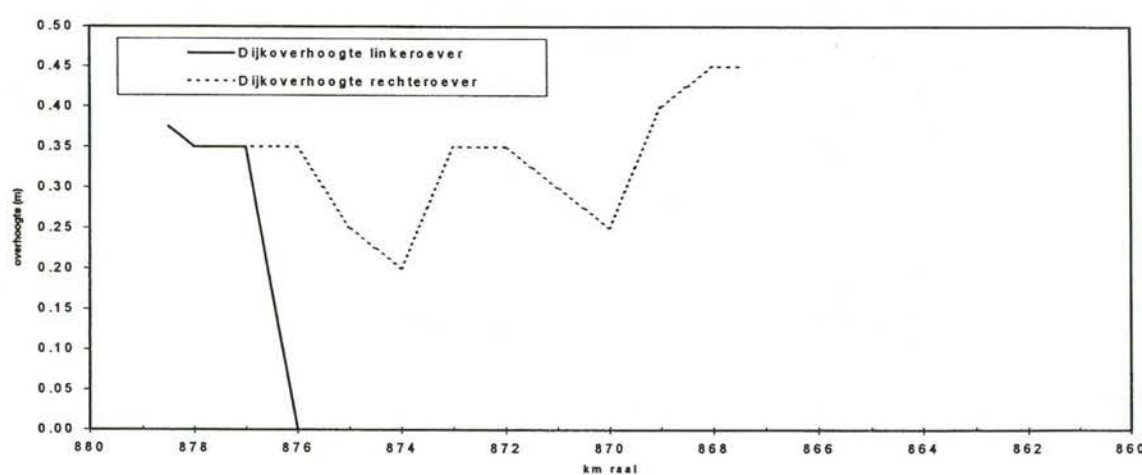
Figuur 7-1 tot en met Figuur 7-6 geeft voor de Rijntakken de overhoogte van dijken op linker- en rechteroever. Waar hoge gronden aanwezig zijn (bijvoorbeeld het Veluwemassief) is een waarde van 3,5 m aangehouden.



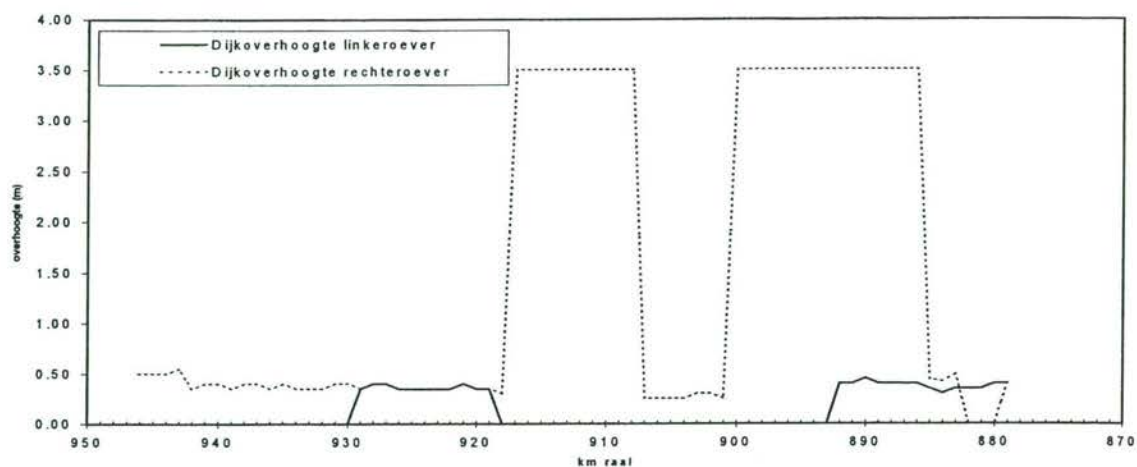
Figuur 7-1 Dijkoverhoogtes op linker- en rechteroever van de Boven-Rijn



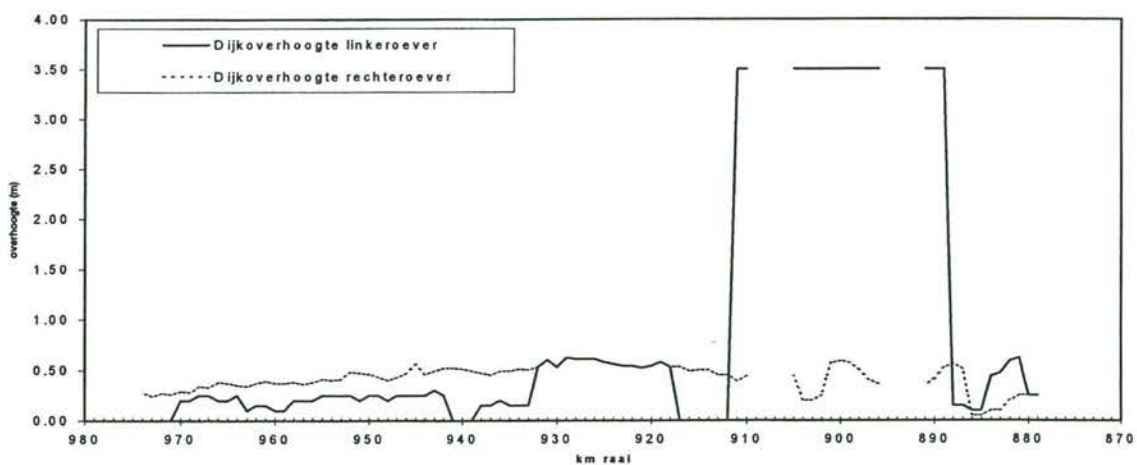
Figuur 7-2 Dijkoverhoogtes op linker- en rechteroever van de Waal



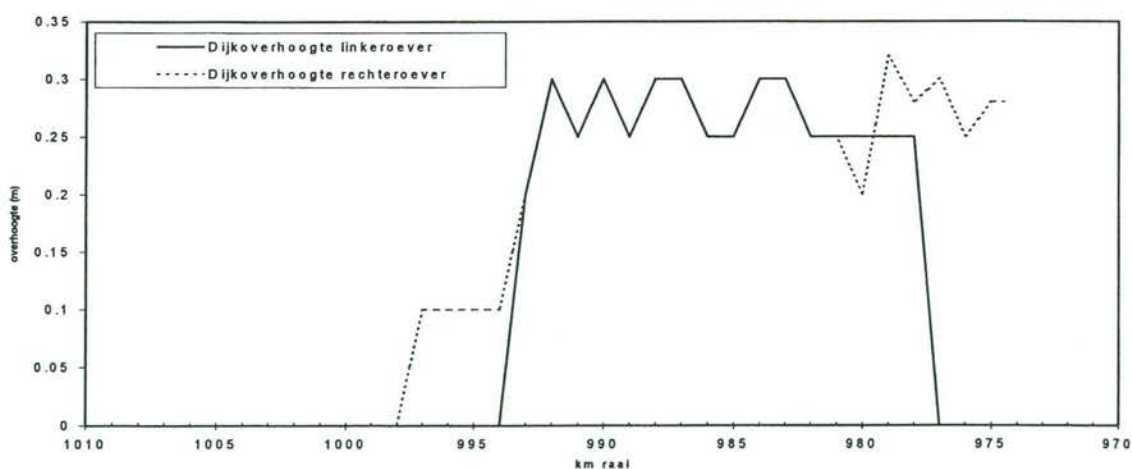
Figuur 7-3 Dijkoverhoogtes op linker- en rechteroever van het Pannerdensch Kanaal



Figuur 7-4 Dijkoverhoogtes op linker- en rechteroever van de Neder-Rijn



Figuur 7-5 Dijkoverhoogtes op linker- en rechteroever IJssel (door bochtafsnijdingen ontbreken er rivierkm.)



Figuur 7-6 Dijkoverhoogtes op linker- en rechteroever van de IJsseldelta

8 Retentie

Inleiding

Met de inzet van een retentiebekken wordt als het ware de piek van de afvoergolf afgeschoren.

In geval meerdere retentiebekkens in serie worden aangelegd, zal het meest bovenstroomse bekken te maken hebben met een onvervormde golfvorm, terwijl het meer benedenstrooms gelegen bekken te maken heeft met een door een of meer bovenstrooms gelegen bekken afgeplatte afvoergolf.

De maat voor het hydraulisch effect van inzet van een retentiebekken wordt gevormd door het in het betreffende bekken te bergen volume aan water (uitgedrukt in miljoen m³). Daarbij wordt verondersteld dat het inlaatwerk voldoende ruim is bemeten. Echter, in de stationaire berekeningen die in het kader van de Spankrachtstudie worden toegepast draait het om het deel van de afvoer (uitgedrukt in m³/s) dat in een bekken kan worden opgevangen. Deze afvoer hangt af van de inzet van bovenstrooms gelegen bekken.

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag hoe om te gaan met het probleem dat de inzet van meerdere bekken moet worden vertaald naar de afvoer die per bekken kan worden onttrokken.

Uitwerking methode

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:

$$V / Q_{\max} = 1143.5 \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 - 2354.1 \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right) + 1210.3 \quad (8-1)$$

Waarin:

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

In formule (8-1) zijn de resultaten van de hoogwatergolven van 1944 en 1945 niet verwerkt daar zij sterk afwijken van het gedrag van de overige 20 hoogwatergolven.

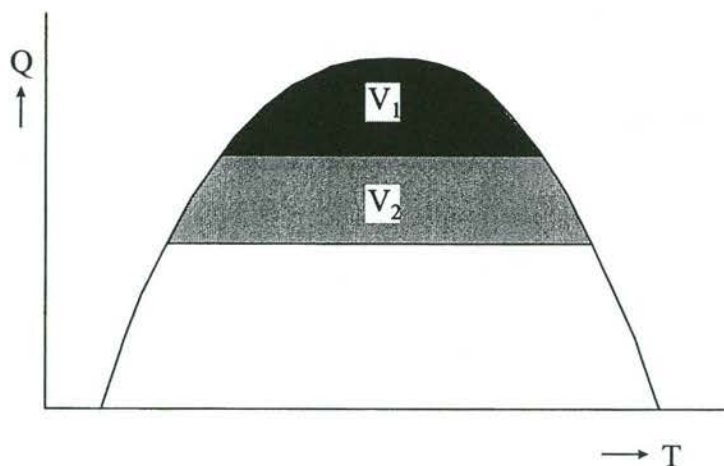
Ter verduidelijking van bovenstaande formule een voorbeeld: Met $Q_{\max} = 16.000$ m³/s en $Q = 15.000$ m³/s volgt voor $V/Q_{\max} = 8.361$ s, zodat een afvoergolf met een piekwaarde van 16.000 m³/s boven het niveau van 15.000 m³/s een gemiddeld volume heeft van $8.361 \times 16.000 = 134$ miljoen m³. Dit betekent dat een retentiebekken langs de Boven-Rijn

(bijvoorbeeld het Rijnstrangengebied) een volume van tenminste 134 miljoen m^3 moet bevatten om een gemiddelde golf met piekafvoer $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ af te toppen tot $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

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 8-1 bevat gegevens van mogelijk in te zetten retentiebekkens langs de Rijntakken. Voor elk mogelijk in te zetten retentiebekken kan met vergelijking (8-1) 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 8-1). 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 (de zogenaamde Silva-factor) geïntroduceerd waarmee het beschikbare retentievolume wordt vertaald naar het effectief ingezet retentievolume. De reductiefactor geeft tevens de onzekerheid weer over de aan te leggen dijkhoogtes om het retentiebekken (wellicht lager dan overeenkomend met de huidige MHW bij de inlaat plus waakhoogte) en de onzekerheid over de grootte van de voetafdruk van het bekken. Voor deze factor is bij de toepassing in het kader van de Spankrachtstudie steeds 0,5 aangehouden (50%).



Figuur 8-1 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.

Tabel 8-1 Gegevens van retentiebekkens langs de Rijntakken

code	naam	tak	kmr	oever	volume (Mm ³)	oppervlak (ha)
90001g	Rijnstrangen + Duivense Broek	BR	860.0	R	269,0	5481
90001k	Rijnstrangen	BR	860.0	R	168,8	2891
90017wl	Over-Betuwe uit WL	WL	872.0	R	284,8	3737
90002g	Ooijpolder groot	WL	874.0	L	97,8	1684
90002k	Ooijpolder klein	WL	874.0	L	88,7	1519
90016	De Smalmorgen	WL	911.0	L	192,0	2602
90015	De Steendert	WL	919.0	R	132,1	1807
90013	Den Duyl	WL	951.0	L	187,4	3008
90017pk	Over-Betuwe uit PK	PK	873.0	L	230,2	3613
90003	Het Binnenveld	NL	907.0	R	55,7	1128
90018	De Mars	NL	907.0	L	33,4	812
90004	Rijswijkse Veld	NL	929.0	L	66,8	1312
90005	Polder Blokhoven	NL	940.0	R	57,7	971
90019g	Beesdsche Lage Veld groot	NL	942.0	L	251,0	4243
90019k	Beesdsche Lage Veld klein	NL	942.0	L	152,5	2533
90020	Duivense Broek	IJ	884.0	R	92,4	2393
90006	Spaensweerd	IJ	913.5	R	8,3	286
90007	Bakerwaard	IJ	917.5	R	11,2	372
90008	Cortenoever	IJ	919.5	L	3,5	138
90009	Overmarsch	IJ	929.0	L	7,8	270
90010	Voorsterklei	IJ	931.0	L	3,9	165
90021	Wapenveldse Broek + Terwoldse Wetering	IJ	952.0	L	118,3	2811
90011	Wapenveldse Broek	IJ	968.0	L	26,8	742
90022	Zuthemerbroek	IJ	970.0	R	47,5	1016
90014	Hertogs Wetering	Maas	209.0	L	194,9	4684

Het (maximale) volume van een retentiebekken is bepaald door uit te gaan van een maximaal waterpeil in het bekken gelijk aan de MHW-stand bij de inlaatconstructie. Deze MHW-stand is ontleend aan HR1996. In een GIS-analyse is vervolgens rekening gehouden met de (plaatsafhankelijke) maaiveldshoogte in het bekken.

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 8-1 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 8-1), 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.

Opgemerkt wordt dat de functionaliteit van genoemd spreadsheetmodel integraal onderdeel is van de Blokkendoos. De Blokkendoos bepaalt dus zelf voor door de gebruiker geselecteerde retentiebekkens en bij de door de gebruiker gekozen (extra) afvoeren per Rijntak het maximale inlaatdebiet. Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat het inlaatdebiet bij een benedenstrooms bekken afneemt naarmate bovenstrooms meer bekkens worden ingezet.

9 Hydraulische ruwheden bij Aanvullende Maatregelen

9.1 Inleiding

In de Spankrachtstudie worden enkele typen integrale maatregelen doorgerekend. 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 thans 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. Vervolgens worden voor 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 9-1 geeft de in dit hoofdstuk gebruikte symbolen, eenheden en betekenis.

Tabel 9-1 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

9.2 Ecotoopverdeling bij aanvullende maatregelen

Het verschil tussen de drie aanvullende maatregelen komt onder andere tot uiting in de mate van vergraving. AM1, AM2 en AM3 houden het volgende in:

- AM1 omvat het vergraven van alle uiterwaarden al dan niet met uitzondering van de L&C-uiterwaarden tot 60% van de landbouwgebruikswaarde;
- AM2 omvat het afgraven van alle uiterwaarden al dan niet met uitzondering van de L&C-uiterwaarden tot standaard natte natuur (50% natuurlijk grasland, 50% open water); en
- AM3 lijkt op AM2, maar met een verhouding 25% open water en 75% grasland ontstaat (lijkt op AM2).

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. het tijdstip na aanleg dat wordt beschouwd en andere gebiedsfactoren.

Voor de aanvullende maatregelen worden onderstaande ecotopenverdelingen 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 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 natuurlijk 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.

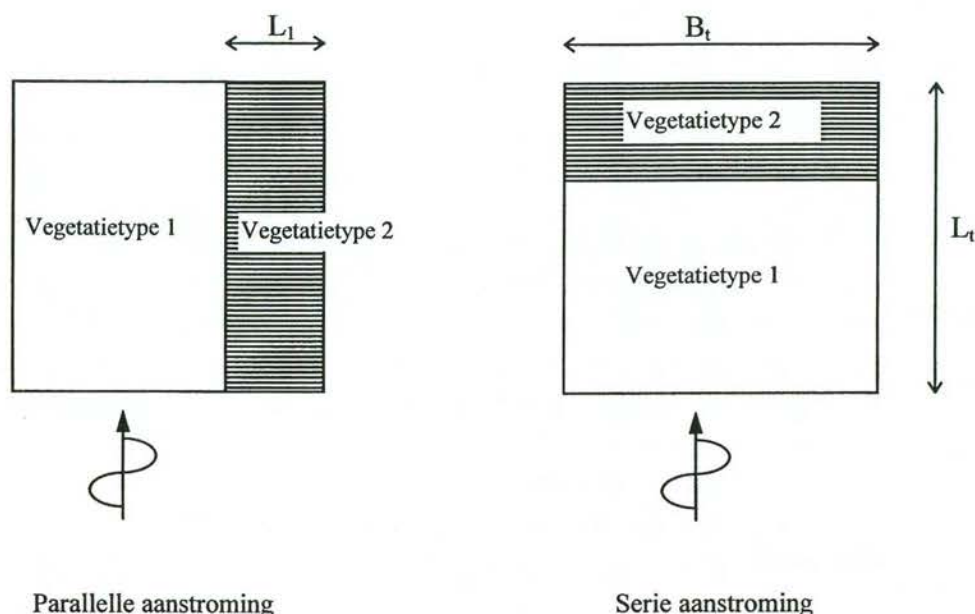
De gebieden worden zodanig vergraven dat deze 'nattere' ectopenversies nog net gedijen.

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% natuurlijk grasland (combinatie water-gras); en
- overige ecotopenverdelingen ongewijzigd blijven.

9.3 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 belangrijke rol. Voor gecombineerde vegetaties wordt in eerste instantie een tweedeling aangehouden, de zgn. Serie aanstroming en de zgn. Parallele aanstroming (zie Figuur 9-1).



Figuur 9-1 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 seriestroming 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.

Parallelle oriëntatie t.o.v. de stroming

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

$$Q_i = B_i \cdot h_i \cdot C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot i_w} \quad (9-1)$$

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

$$Q_t = \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n B_i \cdot h_i \cdot C_i \cdot \sqrt{h_i \cdot i_w} \quad (9-2)$$

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:

$$C_t = \frac{1}{B_t} \sum_{i=1}^n B_i \cdot C_i \quad (9-3)$$

Dit mag ook worden geschreven door middel van een percentage:

$$C_t = \sum_{i=1}^n p_i \cdot C_i \quad (9-4)$$

Waarbij p_i gedefinieerd is als:

$$p_i = \frac{B_i}{B_t} \quad (9-5)$$

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

$$C = 18 \log \left(\frac{12h}{k} \right) \quad (9-6)$$

Combinatie van (4) en (6) levert:

$$\log \left(\frac{12h}{k_t} \right) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log \left(\frac{12h}{k_i} \right) \quad (9-7)$$

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):

$$k_t = 10^{\left(\sum_{i=1}^n p_i \log k_i \right)} \quad (9-8)$$

Serie oriëntatie t.o.v. de stroming

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

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

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

$$Q_t = Q_i \quad (9-10)$$

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:

$$\Delta h_t = \sum_{i=1}^n \Delta h_i \quad (9-11)$$

waarbij:

$$\Delta h_t = L \cdot i_w \quad (9-12)$$

en:

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

Hieruit volgt dat voor een serieschakeling geldt dat:

$$Q_t = B_t \cdot h_t \cdot C_t \cdot \sqrt{h \cdot \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot i_i}{L_t}} \quad (9-13)$$

Door nu vergelijking (9-9) in te vullen in vergelijking (9-13), 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:

$$C_t^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{L_t} \cdot \frac{1}{C_i^2}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n p_i \cdot \frac{1}{C_i^2}} \quad (9-14)$$

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 (9-6) kan voor een constante waterdiepte en de gegeven k-waarde per lamel / ecotoop de Chézy-coëfficiënt (C_i) worden berekend. Vervolgens kan met (9-14) de totale Chézy-coëfficiënt (C_t) worden bepaald, waarna weer met vergelijking (9-6) de totale Nikuradse ruwheid k_t kan worden verkregen. Voor deze terugrekening geldt dan de geïnverteerde relatie:

$$k_t = \frac{12 \cdot h}{10^{\left(\frac{C_t}{18}\right)}}$$

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:

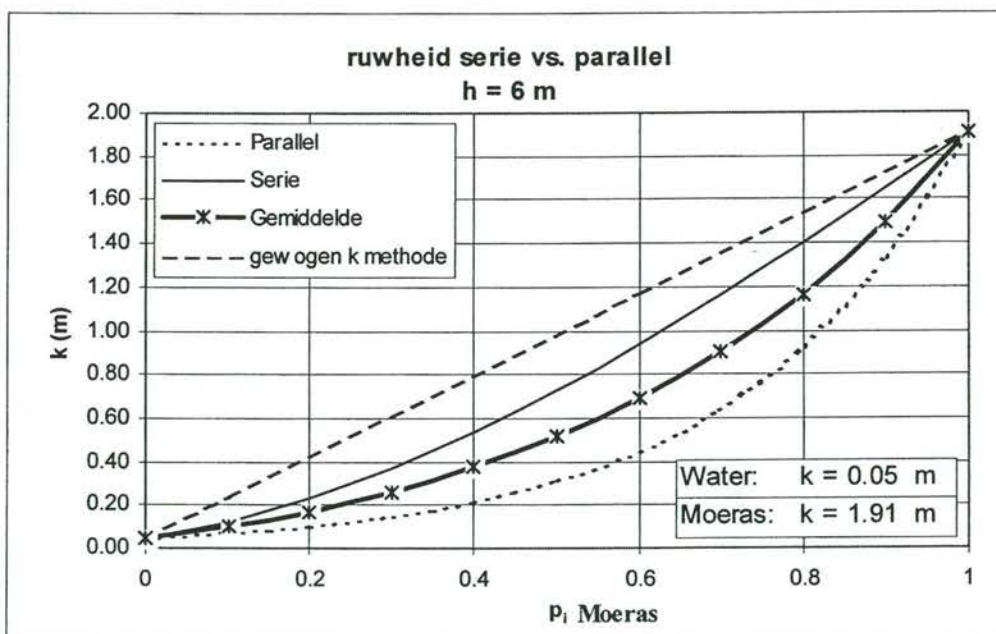
$$k_t = \frac{k_{t_serie} + k_{t_parallel}}{2} \quad (9-15)$$

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

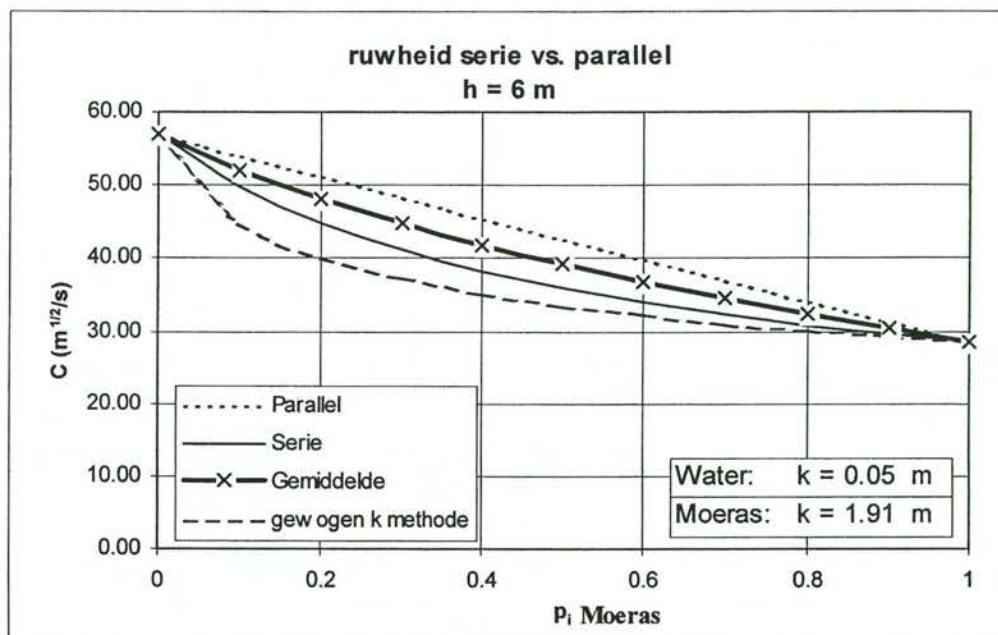
$$k_t = p_i \cdot k_1 + (1 - p_i) \cdot k_2 \quad (9-16)$$

Deze methode maakt geen gebruik van parallelle- of serieaanstrooming, 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 9-2 en Figuur 9-3, waar een combinatie van open water met moerasvegetatie (ruigten) is gekozen bij een waterstand van $h = 6$ m.



Figuur 9-2 Nikuradse ruwheid bij serie schakeling en parallelle schakeling



Figuur 9-3 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.

9.4 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. In het voorgaande is ingegaan op de wijze waarop een gecombineerde ruwheid van meerdere vegetaties kan worden bepaald. In het onderstaande worden de specifieke ruwheidswaarden voor de verschillende ecotopen en ecotopencombinaties besproken. 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 berekenen. 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 9-2 geeft een uitleg over de formule 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 9-2 r_code binnen WAQUA met globale beschrijving van formule 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 9-3. 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 9-3 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	$h=10 \text{ m}$, $md=0,05 \text{ m}^2$	-	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:

$$C = \chi \sqrt{\frac{2 \cdot g}{C_D \cdot m \cdot D \cdot h}} \quad (9-17)$$

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 is in het voorgaande besproken. Het bepalen van deze gecombineerde ruwheid vereist wel dat ruwheid van de individuele ectopencomponenten bekend is. Deze worden ontleend aan Tabel 9-3. Bovenstaande heeft geleid tot de in Tabel 9-4 beschreven samengestelde ruwheden.

Tabel 9-4 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.

9.5 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 BASELINE-berekening. In verband met capaciteit was dit niet mogelijk.

Bovenstaand is besproken met de opdrachtgever en besloten is om toch AM3 zoals het 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`

10 Het combineren van WAQUA-schematisaties

10.1 Inleiding

Omdat voor de Spankrachtstudie een groot aantal WAQUA-berekeningen uitgevoerd dienen te worden, is getracht een meer efficiëntere methode te vinden dan thans gebruikelijk is om de WAQUA-invoerfiles (de zgn. INCLUDE-files) te genereren. Op dit moment wordt in principe nog voor iedere aanpassing in de WAQUA-schematisatie een BASELINE-berekening gedraaid, hetgeen bijzonder tijdrovend is (orde 8 uur per berekening voor het Rijntakken-model). Nu in de Spankrachtstudie een groot aantal WAQUA-berekeningen (voor ieder te verwijderen knelpunt minimaal één som) is een doorlooptijd van één dag voor een BASELINE-berekening om nieuwe WAQUA-invoerfiles te genereren (voor bodem, kades&overlaten, ruwheden en schotjes) onacceptabel.

Het idee is gerezen om slechts enkele BASELINE-berekeningen te draaien, waar alle te verwijderen knelpunten reeds in zijn verwerkt, en daarna de met BASELINE verkregen WAQUA-invoerfiles op een slimme manier met elkaar te combineren. Hiertoe zullen alleen de gegevens voor een bepaalde verwijderde knelpunt worden genomen, en daarbuiten een basisschematisatie. Deze methode wordt bereikt door binnen BASELINE een polygoon om het knelpunt heen te trekken, deze polygoon te vertalen naar M,N coördinaten van het WAQUA-rooster, en vervolgens de informatie binnen de polygoon van het verwijderde knelpunt te combineren met de informatie buiten de polygoon van de basisschematisatie. Hiermee wordt een WAQUA-schematisatie gecreëerd waarin slechts één knelpunt is verwijderd.

Meander Advies en Onderzoek heeft deze tool gemaakt. Daarbij zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

1. het maken van een tool die WAQUA invoerfiles combineert;
2. het maken van een tool onder BASELINE die een polygoon vertaalt naar WAQUA M,N coördinaten; en
3. het maken van een batch file die per knelpunt een directorystructuur maakt en alle aangemaakte files, uit punt 1., in de juiste directories plaatst.

Paragraaf 10.2 beschrijft de BASELINE-tool t.b.v. het vertalen van ARC-VIEW polygonen naar M,N coördinaten van het WAQUA-rooster. Vervolgens beschrijft paragraaf 10.3 de WAQUA combinatietool. Paragraaf 10.4 gaat in op de batch-file onder UNIX die één en ander automatisch uitvoert.

10.2 BASELINE-tool

De ArcInfo-applicatie COMPWAQ kan worden gebruikt om per ingreep-locatie aan te geven welke roosterpunten wel en welke roosterpunten niet tot de ingreep behoren. Hiertoe moet

rond de ingreep een gesloten polygoon worden getrokken. Deze polygoon moet voldoende groot zijn opdat de volledige ingreep wordt omvat.

De applicatie bestaat uit vier ArcInfo-scripts geschreven in *aml*, de ArcInfo-MetaLanguage. Het betreft hier WAQCOMP.AML, DISP_HELP.AML, IFXKILL.AML voor de eigenlijke ArcInfo-routines en WAQCOMP.MENU voor het openen van het gebruikersvenster.

Het ArcInfo-script DISP_HELP.AML zorgt ervoor dat de help-routines van ArcInfo kunnen worden aangeroepen; als dit niet lukt volgt een foutmelding. Het ArcInfo-script IFXKILL.AML zorgt ervoor dat alle tussentijds aangemaakte bestanden/coverages die niet meer nodig zijn netjes worden opgeruimd. Beide scripts dienen enkel ter ondersteuning van het script WAQCOMP.AML.

De bepaling van welke punten binnen een polygoon vallen gebeurt in script WAQCOMP.AML. Het script heeft twee invoerbestanden nodig en creëert één uitvoerbestand. Het eerste invoerbestand bevat de polygoon om het ingrepengebied, het tweede invoerbestand bevat een coverage van het rooster met daarin de (M,N)-coördinaten. De gebruiker moet in het script WAQCOMP.AML aangeven wat de betreffende bestandsnamen zijn (de variabele *ingrepen* voor het bestand met de polygoon en de variabele *mnpntin* voor het bestand met het rooster).

In het bestand *ingrepen* staat de polygoon (of de polygonen) die het ingrepengebied beschrijft. Ieder polygoon wordt gekenmerkt door een *id*. Dit *id* wordt door WAQCOMP gebruikt om de verschillende polygonen van elkaar te onderscheiden. Vervolgens genereert het programma het uitvoerbestand *mningrp###.csv* waarin voor ieder polygoon de (M,N)-coördinaten staan van de punten die binnen het polygoon vallen. De *###* wordt vervangen door het *id* van de betreffende polygoon.

Het is niet gelukt om het programma te testen op een dataset van de opdrachtgever omdat zo'n dataset niet beschikbaar was. Bij testen op een dataset van De Maaswerken werkte het programma naar tevredenheid.

10.3 WAQUA-combinatietool

Het programma COMBWAQMOD kan worden gebruikt om twee WAQUA-schematisaties met elkaar te combineren, op een aantal door de gebruiker op te geven locaties. De combinatie wordt uitgevoerd voor 8 WAQUA include files, te weten; de bodemfile (bodem.<ID>), de ruwheidsfiles (area-u.<ID>, area-v.<ID>), schotjes (schotrrb-u.<ID>, schotarea-u.<ID>, schotrrb-v.<ID>, schotarea-v.<ID>), kades & overlaten (overlaat.<ID>). De locaties waar de ingrepen plaatsvinden komen uit de file met M,N coördinaten van het gebiedje.

Het programma (geschreven in Fortran 77) vraagt om de volgende zaken, indien niet van de batchmogelijkheid gebruik wordt gemaakt:

- rooster;
- naam van de referentiedirectory (max. 3 karakters);
- naam van de ingrependirectory (max. 3 karakters)
- naam van de uitvoerdirectory (knelpuntcode); en

- verwijzing naar de ingrepenlocaties (knelpuntcode.mn).

De noodzakelijke invoer bestaat dus uit een identificatie voor de WAQUA-basisschematisatie, een identificatie voor de WAQUA-ingrepenschematisatie, een identificatie voor de WAQUA-uitvoerschematisatie, en één of meer invoerfiles waarin de locaties staan waar de WAQUA-schematisaties met elkaar gecombineerd moeten worden. Indien de gebruiker geen files(s) opgeeft met locaties zal de WAQUA-uitvoerschematisatie gelijk zijn aan de WAQUA-basisschematisatie. Geeft de gebruiker wel locatiefiles op dan zal voor die locaties de WAQUA-ingrepenschematisatie gelden en daarbuiten de WAQUA-basisschematisatie.

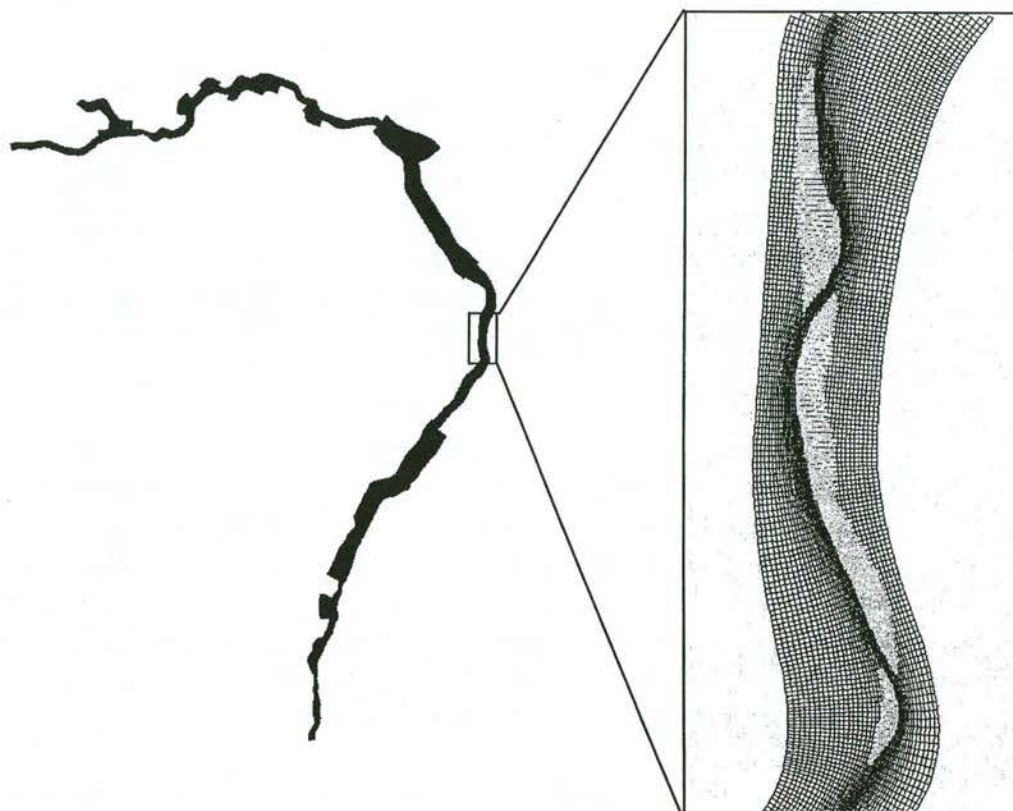
Testen konden in eerste instantie niet voor de Rijntakkenschematisatie worden uitgevoerd, omdat deze nog niet beschikbaar waren. Daarom is COMBWAQMOD getest op twee verschillende WAQUA-schematisaties van de Maas. Het betrof hier de WAQUA-schematisatie Sope2000 versie3d en Maascorridor (beide gemaakt door de Maaswerken). Deze modellen verschillen op drie bekende locaties van elkaar in zowel de bodem, de overlaten, de schotjes als de ruwheden. Omdat de verschillen beperkt zijn is het eenvoudig het resultaat visueel te controleren. Figuur 10-1 toont hoe het gehele WAQUA-model voor de Maas er uit ziet en waar de ingreeplocaties zich bevinden.

De drie verschillende ingreepgebieden worden gekenmerkt door drie verschillende files met M,N coördinaten, namelijk part1.mn, part2.mn en part3.mn. Verder is er één bestand waarin alle locaties met wijzigingen voorkomen (parts.mn).

De basisschematisatie is het model Scope2000, de identificatie van dit model is **v3d**. Voor het Maascorridor-model is de identificatie **mc**. Deze twee modellen zijn op een aantal manieren met elkaar gecombineerd. De verkregen WAQUA-modellen hebben de identificaties **tst1** tot en met **tst5**. Tabel 10-1 geeft een overzicht van de uitgevoerde testen.

Tabel 10-1 Uitgevoerde testen met 'COMBWAQMOD'

Id	Invoer	Wijzigingsfiles	Beschrijving
tst1	tst1.in	-	geen wijzigingsfiles, dus tst1 moet gelijk zijn aan v3d
tst2	tst2.in	parts.mn	alle wijzigingen, dus tst2 moet gelijk zijn aan mc
tst3	tst3.in	part2.mn	tst3 moet in het tweede gebied gelijk zijn aan mc , voor de rest moet het model gelijk zijn aan v3d
tst4	tst4.in	part1.mn & part3.mn	tst4 moet in het eerste en het derde gebied gelijk zijn aan mc , voor de rest moet het model gelijk zijn aan v3d
tst5	tst5.in	part1.mn, part2.mn & part3.mn	alle wijzigingen, dus tst5 moet gelijk zijn aan tst2 vergelijking of volgorde van invoer nog van belang is



Figuur 10-1 WAQUA-rooster en ingreeplocaties voor test-schematisaties

Met betrekking tot de ruwheden wordt één opmerking gemaakt. In de ruwheidsfiles zoals die door BASWAQ worden gemaakt is het mogelijk dat in één cel dezelfde ruwheidscode meerder malen voorkomt. In de programmatuur worden dan in deze situatie de betreffende percentages gewoon opgeteld, zodat de code per cel slechts één maal voor komt. Hierdoor kunnen de files verschillen terwijl het uiteindelijke resultaat (op WAQUA niveau) wel identiek is. Om dit te voorkomen worden de oorspronkelijke ruwheidsfiles van BASWAQ ingelezen en weggeschreven zodat ook in deze files de ruwheden gesorteerd staan. Hiervoor is het programma SORTROUGH gemaakt. Een controle van SORTROUGH is uitgevoerd door de invoer en uitvoer van SORTROUGH met behulp van de UNIX commando DIFF te vergelijken. Hierbij blijken er enkel verschillen te zijn in dubbel voorkomende codes, waarbij de percentages opgeteld juist blijken te zijn.

De bovengenoemde opgetelde percentages blijken zo nu en dan iets groter te zijn dan 1,000 (vaak 1,001). Deze laatste waarde wordt veroorzaakt door afrondfouten vanuit BASELINE. Het blijkt ook dat WAQPRE hierop stuk loopt. Het programma COMBWAQMOD is zodanig aangepast dat percentages groter dan 1,000 worden afgerond naar 1,000. Hierbij is een uitzondering gemaakt voor ruwheidscodes groter dan 951, omdat hierbij de percentages wel groter dan 1,000 mogen worden, aangezien het hier (vegetatie-) hoogtes betreft waar geen maximum aan gesteld wordt.

Testresultaten Maas

De WAQUA-schematisatie **tst1** zou identiek moeten zijn aan de WAQUA-schematisatie **v3d**. Dit is gecontroleerd m.b.v. van het UNIX commando DIFF. Hierbij blijken de files met extensie **tst1** identiek te zijn aan de files met extensie **v3d**.

De WAQUA-schematisatie **tst1** zou in de drie ingreepgebieden identiek moeten zijn aan de WAQUA-schematisatie **mc**; buiten de ingreepgebieden moet **tst2** gelijk te zijn aan **v3d**. Voor de bodemligging, ruwheden en schotjes is dit visueel gecontroleerd en goedbevonden. Voor de ruwheden en schotjes is gekeken op welke locaties **tst2** afweek van **v3d**; het betreffende gebied besloeg precies de locaties van de ingrepen.

De WAQUA-schematisatie **tst3** zou in het tweede ingreepgebied identiek moeten zijn aan de WAQUA-schematisatie **mc**; buiten dit ingreepgebied moet **tst3** gelijk zijn aan **v3d**. Voor de bodemligging en de ruwheden is dit visueel gecontroleerd en goedbevonden. Voor de ruwheden en schotjes is gekeken op welke locaties **tst3** afweek van **v3d**; het betreffende gebied besloeg precies de locatie van de tweede ingreep.

De WAQUA-schematisatie **tst4** zou in het eerste en derde ingreepgebied identiek moeten zijn aan de WAQUA-schematisatie **mc**; buiten deze ingreepgebieden moet **tst4** gelijk zijn aan **v3d**. Voor de bodemligging en ruwheden is dit visueel gecontroleerd en goedbevonden. Voor de ruwheden en schotjes is gekeken op welke locaties **tst4** afweek van **v3d**; het betreffende gebied besloeg precies de locatie van de twee ingrepen.

De WAQUA-schematisatie **tst5** zou identiek moeten zijn aan de WAQUA-schematisatie **tst2**. Dit is gecontroleerd m.b.v. het UNIX-commando DIFF. Hierbij blijken de files met extensie **tst5** gelijk te zijn aan de files met extensie **tst2** en dus zijn de WAQUA-schematisaties identiek

WAQUA-Rijntakkenmodel

COMBWAQMOD is ook gecontroleerd met behulp van de WAQUA-schematisatie van de Rijntakken (ontvangen van RIZA op CD op 09-03-00), die is gebruikt voor het onderzoek: Aanvullende analyses RvR: WAQUA-analyses (RvR-rapport 99.13). Deze schematisatie is niet exact de schematisatie waarmee in dit onderzoek gerekend zal gaan worden.

De volgende aanvullende tests zijn uitgevoerd:

- 003, polygoon zonder m,n coördinaten;
- 004, polygoon met gebied M,N (34 - 38, 335 - 338), space separated; en
- 005, polygoon met gebied M,N (34 - 38, 335 - 338), comma separated.

De basisschematisatie is aangeduid met **ref**, de ingrepenschematisatie is aangeduid met **igr**. In het gebied dat omsloten is door de polygoon is de totale bodem verlaagd tot NAP + 0 m, zijn de ruwheidscodes vervangen door ruwheidscode 3 (default k-waarde) en zijn alle binnenliggende weirs (kades & overlaten) verwijderd.

Test 003 blijkt identiek te zijn aan de referentieschematisatie, hetgeen ook verwacht mag worden.

Test 004 geeft binnen de polygoon de ingrepenschematisatie en buiten het gebied de referentiesituatie voor alle schematisaties.

Test 005 blijkt identiek te zijn aan test 004, hetgeen inhoudt dat COMBWAQMOD ook comma separated files voor wat betreft de M,N-coördinatenfile kan lezen.

Bovenstaande gecreëerde schematisaties zijn ook getest door WAQPRE.RUN te draaien, onder WAQUA. Hiermee zijn andere fouten opgespoord waaronder:

- Oppervlak percentages voor de ruwheid mogen niet groter zijn dan 1,001, hetgeen wel bleek op te treden. Het programma COMBWAQMOD is zodanig aangepast dat percentages die gelden voor ruwheidscode kleiner dan 951 worden afgerond naar 1,000. Hiermee werd dit probleem verholpen. M,N coördinaten en R_codes voor bepaalde M,N coördinaten waar een dergelijke afronding heeft plaatsgevonden worden weggeschreven naar de file cwm_uit.<knelpuntcode> in de directory BASELINE,
- Schuine weirs zijn altijd samengesteld uit een u- en een v-weir. Het kan zo zijn dat de u-weir nog net binnen de ingrepenpolygoon ligt, terwijl de v-weir er net buiten ligt. Bij het verwijderen van alle weirs binnen de polygoon treedt dan het probleem op dat de v-weir geen u-weir meer heeft, hetgeen leidt tot een foutmelding binnen WAQPRE.RUN. Aangezien binnen BASELINE de ingrepen ruim binnen de getrokken polygoon zullen vallen, zullen deze problemen vermoedelijk niet op gaan treden.

10.4 Het UNIX-batchprogramma 'CREATEWAQ.RUN'

Om het overzicht te bewaren dienen alle modellen en berekeningen in een aparte directory te worden opgeslagen. Hiervoor is besloten een batch-programma te maken die een aantal zaken automatisch uitvoert:

- aanmaken van de juiste directorystructuur per berekening;
- opstarten van COMBWAQMOD;
- kopiëren van de aangemaakte files in de juiste directories;
- kopiëren van de WAQUA-SIMINP file (Inputfile), en het aanmaken van de juiste verwijzingen.

Voor de directory-structuur is de standaard BASELINE structuur aangehouden, waar nodig aangevuld indien nodig.

De volgende directory-structuur zal moeten gaan ontstaan, zie Tabel 10-2. Hiervoor is het nodig dat de niet cursieve directories reeds bestaan. De cursieve directories worden in principe aangemaakt.

Voor ieder model zullen een aantal onderdelen (zoals rooster, randvoorwaarden, etc) altijd hetzelfde zijn. Deze behoeven eenmaal in de directory basis worden geplaatst, teneinde schijfruimte te besparen. De onderdelen van de schematisaties die wel kunnen wijzigen (bodem, overlaten, ruwheden en schotjes) moeten worden aangeleverd door het programma COMBWAQMOD.

Tabel 10-2 Directory structuur

niveau 1	niveau 2	niveau 3	niveau 4	niveau 5
WAQUA	Waal Neder-Rijn IJssel	ingreepgebieden basis ref gsd knp knelpuntcode knelpuntcode knelpuntcode	berekeningen bodem info initieel invoer locaties overlaten randen rooster ruwheid schotjes uitvoer figuren BASELINE	

De directory Baseline bevat files (cwm_in.<knelpuntcode>, cwm_uit.<knelpuntcode> en <knelpuntcode.mn) met bijgeleidende tekstuele uitvoer van COMBWAQMOD en de file(s) met locaties waar de wijzigingen zijn aangebracht. Deze hebben geen functie meer voor de feitelijke WAQUA-berekeningen, maar geven achtergrondinformatie die in een later stadium handig kan zijn.

Bij het aanroepen van CREATEWAQ.RUN dienen de volgende argumenten te worden meegegeven: extensie van de referentiedirectory (ref); extensie van de ingrependirectory (knp of gsd); en uitvoer c.q. knelpuntcode.

Binnen WAQUA dient dan ook het volgende commando te worden opgegeven:

```
createwaq.run ref knp <knelpuntcode>
```

Bij het aanroepen van CREATEWAQ.RUN is aangenomen dat ref, gsd / knp en basisgegevens bestaan. Ook 'ingreepgebieden' moet bestaan en dient de invoerfiles met M,N-coördinaten te bevatten. Vervolgens voert de batch-file de volgende acties uit:

1. 'vragen' naar de identificatie van het basismodel (ref);
2. 'vragen' naar de identificatie van het basismodel (knp of gsd);
3. 'vragen' naar de identificatie van het resultaatmodel c.q. de knelpuntcode (<knelpuntcode>);
4. nagaan of er al een directory met deze naam aanwezig is; zo ja stoppen met een foutmelding;
5. nagaan of de directory ingreepgebieden de file <knelpuntcode>.mn bevat; zo nee stoppen met een foutmelding;
6. als de invoer klopt het uitvoeren van de volgende acties:
 - links maken naar de juiste bestanden t.b.v. COMBWAQMOD
 - COMBWAQMOD draaien
 - nieuwe directory maken voor het betreffende knelpunt inclusief de onderliggende directories (zie niveau 4, Tabel 10-2);
 - de files, aangemaakt door COMBWAQMOD in de juiste directories plaatsen;

- de basisfile SIMINP.<knelpuntcode> bewaren in de directory <knelpuntcode>/berekeningen;
- in SIMINP.<knelpuntcode> de juiste verwijzingen maken;
- alle tussentijds aangemaakte files opruimen

Het programma is getest en voert de handelingen correct uit. Bij het testen zijn een aantal problemen zaken aan het licht gekomen waarop het programma waar dat nodig was is aangepast.

10.5 Het UNIX-batchprogramma 'RUNOPSUN.RUN'

Bij WL zijn t.b.v. de Spankrachtstudie alle WAQUA berekeningen op een Sun machine gedraaid. Teneinde de meest optimale architectuur te nemen, is gekozen om bij WL van de Sunrise en de Sunray gebruik te maken. Gezien het feit dat deze machines zijn voorzien van de meest snelle bekabeling wordt hierdoor de uitvoeringssnelheid van de berekeningen significant verhoogd. Doordat schijfruimte op deze Sun-machines beperkt is konden de berekeningsresultaten niet op deze machines worden bewaard. Daardoor is een batch-programma gemaakt die de WAQUA-schematisaties kopieert van de locatie waar ze zijn aangemaakt naar de betreffende Sun machine, achtereenvolgens WAQPRE.RUN en WAQPRO.RUN opstart, en de berekening, indien deze succesvol is afgerond, terugkopieert naar de plek waar de berekeningsresultaten kunnen worden bewaard.

Het programma blijkt in de praktijk goed te werken.

10.6 Conclusies

In het kader van de Spankrachtstudies zijn tools ontwikkeld die op een slimme manier WAQUA invoerfiles met elkaar combineren, teneinde te voorkomen dat er een groot aantal tijdrovende BASELINE berekeningen uitgevoerd dienen te worden.

Er is een tool ontwikkeld:

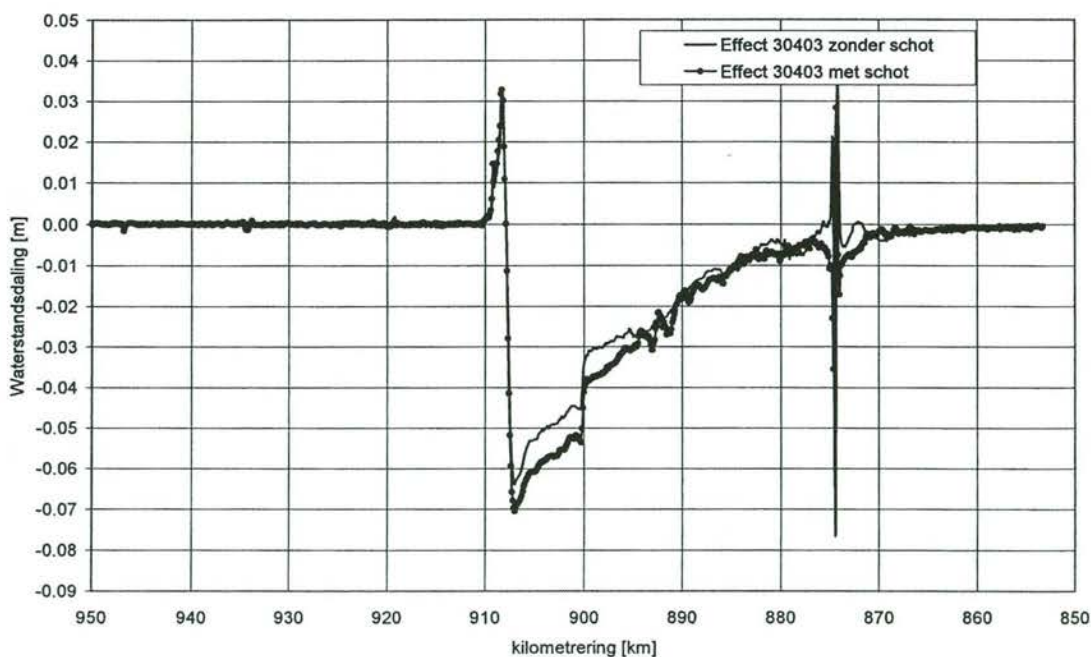
1. die binnen BASELINE een polygoon / coverage vertaalt naar WAQUA M,N coördinaten van het binnenliggende gebied, die;
2. die WAQUA-invoerfiles / includefiles voor de ruwheden, kades en overlaten, schotjes en bodem combineert voor het gebied, of de gebieden binnen en buiten de in punt 1 beschreven polygoon, en een;
3. zgn. batchfile die naast het opstarten van de tool uit punt 2. een directorystructuur aanmaakt en de juiste files hierin plaatst alsmede daar waar nodig binnen die bestanden de juiste verwijzingen aanbrengt.
4. die de berekeningen voor de verschillende WAQUA-schematisaties op de juiste locatie opstart.

De in het bovenstaande beschreven tools zijn uitvoerig gecontroleerd en goed bevonden.

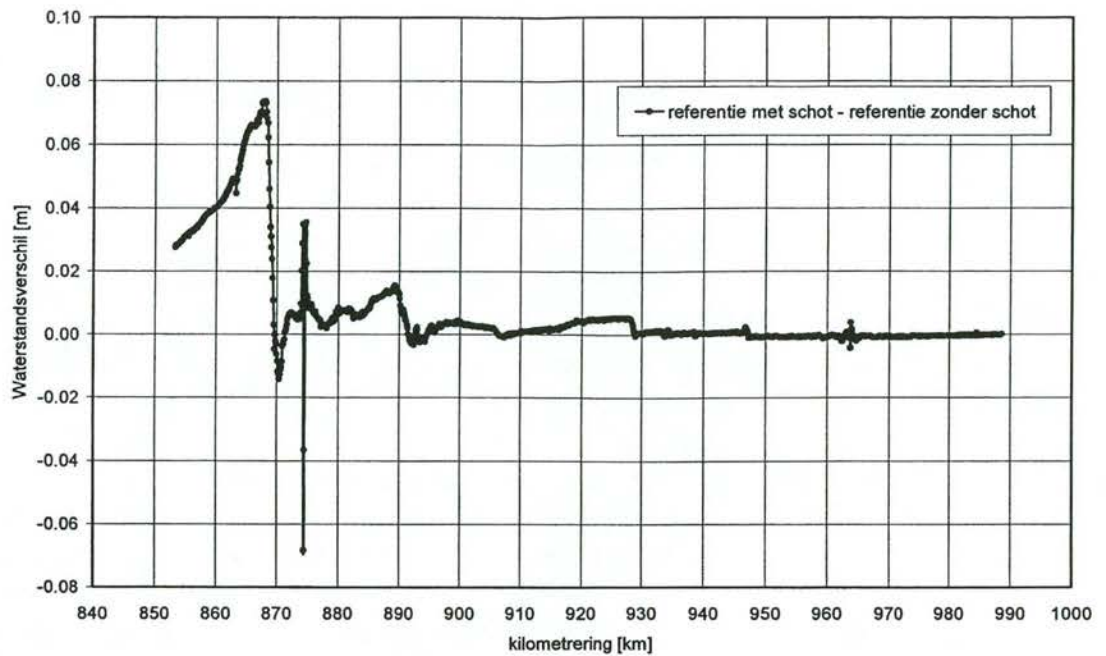
II Bijzonderheden bij de modellering van de Pannerdensche Overlaat

Tijdens het doorrekenen van de alternatieven die zijn samengesteld in het kader van de Spankrachtstudie is gebleken dat het extra schot dat geplaatst moet worden bij de Pannerdensche Overlaat niet is meegenomen in de schematisatie. Het is inmiddels duidelijk dat dit schot in geen enkele berekening van de eerste en tweede fase van de Spankrachtstudie aanwezig is.

Dit extra schot moet aan de schematisatie worden toegevoegd door middel van een los schottenbestand. Door het ontbreken van een extra lege regel aan het einde van dit bestand, leest WAQUA dit bestand niet volledig in. Voor het bepalen van de effecten van maatregelen heeft dit weinig invloed. Omdat zowel in de referentiesituatie als in de berekening met de maatregel het schot afwezig is, blijft het effect min of meer gelijk, zoals zichtbaar is in Figuur 11-1 voor maatregel 30403. Het maximale verschil tussen de twee effecten is kleiner dan 0,01m.



Figuur 11-1 Effect voor maatregel 30403 met en zonder extra schot bij de Pannerdensche Overlaat



Figuur 11-2 Verschil in waterstand voor de referentiesituatie met en zonder schot

Benedenstrooms van het splitsingspunt zijn de verschillen vanzelfsprekend beperkt, maar bovenstrooms loopt het verschil tussen de berekening met en zonder schot bij de Pannerdensche Overlaat op tot 0,08 m. Voor de samengestelde opties levert dit echter geen problemen op, omdat in alle gevallen het schot in de Blokkendoos in het Pannerdensch Kanaal staat. De waterstand op de Waal is dus bepalend voor de taakstelling op de Boven-Rijn.

12 Archivering van digitale bestanden

In het kader van het onderzoek is een groot aantal digitale gegevensbestanden gebruikt.

Deze gegevens zijn door WL gearchiveerd door de relevante bestanden op tape te zetten. Het gaat om de volgende tapenummers:

- DLT0-011121, d.d. 21 november 2001, opslag data q2975_1;
- DLT0-020318, d.d. 18 maart 2002, opslag data q2975_2; en
- DLT0-020314, d.d. 14 maart 2002, opslag data q2975fase2.

De precieze inhoud van deze tapes is beschreven in een aantal bestanden die zijn geplaatst op het WL-netwerk, te weten:

- y:\info\Aut\Tape-listing\2001\DLT0-011121.txt
- y:\info\Aut\Tape-listing\2002\DLT0-020318.txt
- y:\info\Aut\Tape-listing\2002\DLT0-020314.txt

Literatuur

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

Classic DFS, 6 mm for 31-60 sheets 247
www.bindomatic.com

