

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Directie Limburg

Voorbereidende studies VVM

C23226 162.20

maart 2000



Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, Directie Limburg

Vorbereidende studies VVM

Auteurs: H.J. Barneveld
N. Vrisou van Eck

Inhoud

Lijst van afkortingen	iii
Lijst van tabellen	v
Lijst van figuren	vii
Samenvatting	ix
1 Inleiding	1-1
1.1 Achtergrond	1-1
1.2 Doelstelling	1-2
1.3 Aanpak en leeswijzer	1-2
2 Hydraulische randvoorwaarden	2-1
2.1 Referentiesituatie	2-1
2.1.1 Bovenstroomse rand	2-1
2.1.2 Benedenstroomse rand	2-4
2.2 Toekomstige situatie	2-6
2.2.1 Klimaatveranderingen en afvoer	2-7
2.2.2 Klimaatveranderingen en zeespiegel	2-7
2.2.3 Klimaatveranderingen en getij	2-9
2.2.4 Klimaatveranderingen en bodemligging	2-9
2.3 Conclusies	2-10
3 Speciale maatregelen	3-1
3.1 Mogelijkheden VVM-BOS	3-1
3.2 Overzicht maatregelen	3-2
4 Overstroomd oppervlak	4-1
5 Detaillering VVM	5-1
5.1 Referentie	5-3
5.2 Probleemdefinitie	5-4
5.3 Toetsing aan WAQUA	5-5
5.4 Enkelvoudige maatregelen	5-5
5.5 Varianten	5-7
5.6 Gevoeligheidsanalyse varianten	5-8
5.7 Overzicht berekeningen	5-9
5.8 Presentatie resultaten	5-9
6 Conclusies en aanbevelingen	6-1
6.1 Conclusies	6-1
6.2 Aanbevelingen	6-1
Literatuur	6-1

Lijst van afkortingen

BOS	BeslissingsOndersteunend Systeem
CA	Combinatie Alternatief
DGR	Deltaplan Grote Rivieren
DLB	Directie Limburg
DTM	Digitaal Terrein Model
GIS	Geografisch Informatie Systeem
IVM	Integrale Verkenning inrichting Maas
MHW	Maatgevende HoogWaterstanden
RKM	Rivier KiloMeter
RWS	Rijkswaterstaat
VKA	Voorkeursaanpak
VVM	Verkenning Verruiming Maas
Wf	Stroomvoerende breedte
Wmain	Breedte zomerbed
Wt	Totale breedte

Lijst van tabellen

tabel 2-1	werklajn 3800 vergeleken met voorgaande versie	2-2
tabel 2-2	Zeespiegelstijging per scenario	2-8
tabel 2-3	effect zeespiegelrijzing op waterstanden Schoonhoven en Vuren (Snippen en Blom, 1999)	2-9
tabel 2-4	voorstel randvoorwaarden voor VVM.....	2-11
tabel 3-1	SOBEK-takken	3-1
tabel 4-1	Inundatieoppervlak (ha) studiegebied VVM berekend met SOBEK- resultaten	4-1
tabel 5-1:	Voorbeeld van een door het VVM-BOS gegenereerde en in VVM gebruikte effectentabel.	5-2
tabel 5-2:	Berekeningen met enkelvoudige maatregelen.	5-7
tabel 5-3:	Samenvatting berekeningen in VVM.	5-9
tabel 5-4	Uitvoerlocaties VVM-berekeningen	5-10

Lijst van figuren

figuur 2-1 Karakteristieke afvoergolven bij Borgharen-Dorp met een herhalingstijd van 1250 jaar.....	2-2
figuur 2-2 Karakteristieke afvoergolven bij Borgharen-Dorp met een herhalingstijd van 250 jaar.....	2-3
figuur 2-3 Karakteristieke afvoergolven bij Borgharen-Dorp met een herhalingstijd van 50 jaar	2-3
figuur 2-4 Maatgevende waterstanden 1995-2000	2-4
figuur 2-5 Berekende ($Q_{\text{Borgharen}} = 3800 \text{ m}^3/\text{s}$) en vastgestelde MHW's	2-5
figuur 2-6 Invloed verhoogde rivierafvoer en benedenwaterstand op de rivierwaterstanden.....	2-6
figuur 4-1 Inundatieoppervlak bepaald met behulp van SOBEK en GIS bij een afvoer van $2750 \text{ m}^3/\text{s}$	4-3
figuur 4-2 Inundatie oppervlak bepaald met SOBEK en GIS bij een afvoer van $4000 \text{ m}^3/\text{s}$	4-3
figuur 4-3 Verandering inundatieoppervlak (ha) bij een afvoertoename van 2750 tot $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ volgens de SOBEK-methode en GIS.	4-4
figuur 4-4 Verschil tussen de SOBEK-methode en GIS in de berekening van de verandering in het inundatieoppervlak (ha) bij een afvoertoename van 2750 tot $4000 \text{ m}^3/\text{s}$	4-4

Samenvatting

Als voorbereiding van de studie VVM zijn enige aspecten onderzocht. Hierbij gaat het voornamelijk om vaststelling van:

- de hydraulische randvoorwaarden die in de studie zullen worden gehanteerd voor zowel de referentiesituatie als de situatie in 2050 (zichtjaar);
- de speciale maatregelen die mogelijk in VVM zullen worden beschouwd en de mogelijkheden voor bepaling van het hydraulisch effect ervan;
- de functionaliteit van het VVM-BOS voor wat betreft de bepaling van het overstroomd oppervlak; en
- de berekeningen die in het kader van de VVM-studie dienen te worden uitgevoerd.

Voor vaststelling van de hydraulische randvoorwaarden is onderscheid gemaakt tussen de huidige situatie of referentiesituatie en het zichtjaar (2050) waarin verwacht wordt dat het klimaat is gewijzigd.

Voor de referentiesituatie is de vaststelling van de topafvoeren en golfvormen gebaseerd op de resultaten van onderzoek ten behoeve van het Randvoorwaardenboek 2001 (Lorenz en Kwadijk, 1998; Vrisou van Eck en D. Klopstra, 1998) alsmede een nadere analyse. Voor laterale toestromingen (zijrivieren, kanalen, gemalen) wordt uitgegaan van eerder vastgestelde relaties tussen de afvoer bij Borgharen-Dorp en de laterale in- en uitstromen (RIZA, 1997-c).

Voor de benedenwaterstand is een korte analyse uitgevoerd waaruit blijkt dat voor de VVM-studie een constante benedenwaterstand van 2,50 m + NAP bij de Anna Jacominaplaats beter geschikt lijkt dan een waterstand van 0,50 m + NAP.

Voor de hydraulische randvoorwaarden in het zichtjaar is gebruik gemaakt van klimaatonderzoek. Hieruit blijkt dat ten opzichte van 1990 de temperatuur in 2050 naar verwachting zal zijn gestegen met 0,5 à 2 °C, met een verwachtingswaarde van 1 °C. De neerslag en afvoeren zullen hierdoor toenemen met 5 à 20%, met een verwachtingswaarde van 10%. Voor de golfvorm wordt verondersteld dat deze kan worden afgeleid uit het representatieve afvoerproces voor de referentiesituatie vermeerderd met de afvoertoe name.

De relatie tussen de afvoer bij Borgharen-Dorp en de laterale in- en uitstromen voor de referentiesituatie ofwel de huidige situatie wordt vooralsnog ook voor het zichtjaar geldig verondersteld, waardoor ook de laterale in- en uitstromingen worden opgeschaald.

Voor de benedenrandvoorwaarde wordt rekening gehouden met een gemiddelde zeespiegelstijging bij Hoek van Holland van 25 cm (onder- en bovengrens respectievelijk 10 en 45 cm). Op basis van het huidige randvoorwaardenboek (RIKZ et al, 1996) zijn de waterstandsverhogingen bij de Anna Jacominaplaats respectievelijk 20 cm (gemiddeld), 8 cm (ondergrens) en 36 cm (bovengrens).

Naast de maatregelen die standaard met het VVM-BOS kunnen worden doorgerekend, zijn er lokaal speciale maatregelen denkbaar. Aangezien deze incidenteel voorkomen zijn ze niet als maatregel in het VVM-BOS opgenomen. Van de speciale maatregelen is op basis van eerdere onderzoeken (Boertien I en II, Maaswerken), alsmede inventarisaties van Rijkswaterstaat Directie Limburg, een kort overzicht gemaakt. Tevens is onderzocht of (en zo ja, hoe) het hydraulisch effect van deze maatregelen kan worden bepaald met het VVM-BOS.

De vvm-studie dient onder andere antwoord te geven op de vraag in hoeverre de omvang van het winterbed zal wijzigen als gevolg van klimaatveranderingen en maatregelen in rivier en stroomgebied. In het vvm-BOS wordt de omvang van het winterbed bepaald op basis van de natte breedte in de SOBEK-dwarsprofielen. Om de nauwkeurigheid van deze methode te toetsen is voor twee testgevallen de omvang van het geïnundeerd gebied tevens met een door RIZA gebouwde GIS-applicatie berekend. De verschillen tussen vvm-BOS en GIS-applicatie blijken klein te zijn.

Tenslotte is een plan opgesteld voor de berekeningen die in de vvm-studie minimaal dienen te worden uitgevoerd, om een antwoord te kunnen geven op de vragen die worden gesteld ten aanzien van de inrichting van de rivier, waarmee een toekomstige toename van de maatgevende afvoer als gevolg van klimaatveranderingen veilig opgevangen kan worden in het beheersgebied van Rijkswaterstaat Directie Limburg. Hierbij gaat het in eerste instantie om de vaststelling van de referentiesituatie en de probleemstelling (wat is de invloed van klimaatveranderingen op waterstanden en afvoeren). Vervolgens zullen principe-berekeningen worden uitgevoerd waaruit het hydraulisch effect van enkelvoudige maatregelen moet blijken. De resultaten vormen de ingrediënten voor de samenstelling van varianten waarmee de effecten van klimaatverandering ten aanzien van waterstanden worden gecompenseerd, bij voorkeur zonder negatieve benedenstroomse effecten. In een gevoeligheidsanalyse wordt de gevoeligheid van de varianten voor veranderingen in golfvorm en topafvoer bepaald. Dit geeft een idee van de veerkracht van de varianten.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Maas is momenteel onderwerp van vele studies en ontwikkelingen en zal dat in de toekomst blijven. De meest in het oog springende voorbeelden hiervan zijn:

- de Maaswerken, waarin een inrichtingsvariant wordt ontwikkeld voor realisatie van een evenwichtige combinatie van hoogwaterbescherming, vaarwegverbetering, natuurontwikkeling en delfstoffenwinning;
- natuurvriendelijke oevers Maas, waarin plannen worden ontwikkeld voor herstel van de natuurwaarden van de oevers van de rivier;
- de studie naar het effect van mogelijke klimaatveranderingen op de maatgevende hoogwaterstanden;
- internationale samenwerking met Frankrijk en België.

De Directie Limburg van Rijkswaterstaat staat voor de uitdagende taak om op basis van al deze ontwikkelingen en de eigen beleids- en beheersvisie de inrichting van de Maas vorm te geven. Dit is de reden waarom de studie Verkenning Verruiming Maas (VVM) is gedefinieerd. De achtergronden en korte uitwerking van de studie zijn beschreven in MEMO MAAS*97-07(I) van Rijkswaterstaat/RIZA van 10 december 1997 (RIZA, 1997-b). Rijkswaterstaat Directie Limburg heeft het RIZA verzocht de studie op te zetten en uit te voeren. In de gehele studie worden de volgende deelprojecten onderscheiden:

1. definitiestudie betreffende de 2 deelprojecten "bouw eerste versie VVM-BOS" en VVM;
2. bouw eerste versie VVM-BOS ten behoeve van de VVM-studie;
3. uitvoering studie Verkenning Verruiming Maas (VVM);
4. uitbreiding eerste versie VVM-BOS ten behoeve van de Integrale Verkenning inrichting Maas (IVM);
5. uitvoering studie Integrale Verkenning inrichting Maas (IVM) ten behoeve van de actualisering van de Beheersvisie Maas.

De definitiestudie is in de eerste helft van 1998 uitgevoerd. De resultaten zijn gepresenteerd in Barneveld en Klopstra (1998). In vervolg op deze definitiestudie is het volgende deelproject (bouw eerste versie VVM-BOS) opgestart. Belangrijk onderdeel van dit VVM-BOS vormt een SOBEK-model van de referentiesituatie. In eerste instantie werd hiervoor de situatie na uitvoering van De Maaswerken gehanteerd. Daartoe is een SOBEK-model van die situatie gebouwd (Barneveld et al, 1998). Mede op basis van de resultaten met dit model, bleek het ontwerp van De Maaswerken nog onzeker te zijn. Derhalve werd besloten om de referentiesituatie voor VVM te wijzigen in de huidige situatie. Ook voor die situatie is een SOBEK-model gebouwd (Klopstra et al, 1999). In aanvulling is het VVM-BOS enigszins aangepast (versie 1.20; Werner, 1999). In combinatie met de opdracht voor de bouw van het SOBEK-model voor de Maas na uitvoering van De Maaswerken (kenmerk CXP/5155, RIZA-overeenkomst RI-2521) werd aan HKV LIJN IN WATER opdracht verleend voor het uitvoeren van de "vorbereidende studies VVM".

In deze voorbereidende studies worden enige –in de definitiestudie onderkende– aspecten nader onderzocht, zodat de VVM-studie direct zou kunnen starten als de definitieve versies van het SOBEK-model en het VVM-BOS gereed zijn. Gezien de wijziging van de referentiesituatie voor VVM, de bouw van het nieuwe SOBEK-model en de aanpassingen van het VVM-BOS zijn de voorbereidende studies VVM gedurende een periode van ruim 1,5 jaar uitgevoerd.

De resultaten van de voorbereidende studies VVM zijn in voorliggend rapport vastgelegd.

1.2 Doelstelling

De voorbereidende studies richten zich op:

1. de randvoorwaardencombinaties die in VVM zullen worden gebruikt voor zowel de referentiesituatie (huidige situatie) als de situatie na klimaatveranderingen (zichtjaar 2050).
2. een korte inventarisatie van mogelijke speciale waterstandsverlagende maatregelen voor de Maas, alsmede de manier waarop het waterstandseffect van deze maatregelen in VVM kan worden bepaald.
3. de vraag of SOBEK profielen geschikt (voldoende nauwkeurig) zijn voor bepaling van de natte breedte of geïnundeerd gebied tijdens hoogwater.
4. een verdere detaillering van de berekeningen die in het kader van VVM dienen te worden uitgevoerd en de wijze waarop de resultaten zullen worden gepresenteerd.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Op basis van voorgaande studies naar de invloed van klimaatveranderingen, de werklijn en de golfvorm bij Borgharen, alsmede gerelateerde onderzoeken als Integrale Verkenning inrichting Benedenrivierengebied (IVB) wordt een voorstel gedaan voor de randvoorwaardencombinaties voor de VVM-studie. De resultaten hiervan zijn beschreven in hoofdstuk 2.

Naast de maatregelen waarvan het hydraulische effect standaard met het VVM-BOS kan worden bepaald, zijn er maatregelen denkbaar die niet zonder meer met het instrumentarium zijn door te rekenen. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van dit soort ‘speciale’ maatregelen. Dit overzicht is gebaseerd op de studies Boertien I en II, de studie Maaswerken, alsmede een inventarisatie uitgevoerd door Rijkswaterstaat Directie Limburg. In hoofdstuk 3 wordt tevens een voorstel gedaan voor de manier waarop het hydraulisch effect van de meest waarschijnlijke maatregelen kan worden bepaald (bij voorkeur via het VVM-BOS).

Het overstroomd oppervlak als functie van de rivierwaterstanden wordt door het VVM-BOS berekend door per SOBEK-vak de natte breedte te vermenigvuldigen met de vaklengte. Voor verificatie van deze methode is het overstroomd oppervlak voor 2 situaties tevens bepaald op basis van een GIS-applicatie van het RIZA. De resultaten van deze verificatie zijn gepresenteerd in hoofdstuk 4.

Als startpunt voor de vvm-studie is een overzicht van de uit te voeren analyses gemaakt, alsmede een voorstel waarop de resultaten kunnen worden gepresenteerd. Overzicht en voorstel zijn gegeven in hoofdstuk 5.

Het rapport wordt afgesloten met de conclusies (hoofdstuk 6).

2 Hydraulische randvoorwaarden

In de definitiestudie VVM is vastgesteld dat in VVM de analyses zullen worden uitgevoerd voor karakteristieke afvoergolven met herhalings tijden van respectievelijk 50, 250 en 1250 jaar. Naast variatie van de maximale afvoer zal de invloed van de golfvorm worden onderzocht door beschouwing van een spitse, gemiddelde en stompe vorm per karakteristieke afvoergolf.

Voor de zijdelingse toestromingen zal een vaste relatie tussen Maasafvoer en laterale toestroom worden aangehouden (RIZA, 1997-c).

Het interessegebied van VVM betreft het beheersgebied van RWS Directie Limburg. De benedenrand ligt derhalve bij Ammerzoden (km 226,5). Het SOBEK-model loopt echter tot de Anna Jacominaplaat (km 262,3). Op deze benedenstroomse rand zal in de berekeningen een constante waterstand worden opgegeven als randvoorwaarde.

In dit hoofdstuk wordt voor zowel de referentiesituatie als de toekomstige situatie (zichtjaar 2050) een voorstel gedaan voor de randvoorwaarden ten behoeve van de studie VVM. De randvoorwaarden voor het zichtjaar 2050 worden daarbij gebaseerd op de randvoorwaarden voor de referentiesituatie gecorrigeerd voor verwachte effecten van klimaatverandering.

2.1 Referentiesituatie

2.1.1 Bovenstroomse rand

Door WL|delft hydraulics en HKV LIJN IN WATER is onderzoek gedaan naar de werklijn van de Maas bij Borgharen en de vorm van karakteristieke afvoergolven. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van RIZA, in het kader van het randvoorwaardenboek 2001. Naast de gemiddelde werklijn en gemiddelde golfvorm voor de golf met een herhalings tijd van 1250 jaar, zijn ook onzekerheidsbanden bepaald.

Voor de nieuwe werklijn is gebruik gemaakt van de meest recente gegevens betreffende topafvoeren. Dit betekent dat afvoergegevens tot 30 september 1997 zijn gebruikt. Bovendien zijn topafvoeren sinds 1984 gecorrigeerd op basis van de nieuwe QH-relatie voor Borgharen-Dorp (Barneveld en Bastings, 1998), alsmede gemeten bodemveranderingen. De concept-resultaten ten aanzien van de werklijn zijn beschreven in Lorenz en Kwadijk (1998). Op basis van deze resultaten en enige aanvullende analyses is een voorlopige werklijn vastgesteld, met een maatgevende afvoer (herhalings tijd 1/1250 jaar) van 3800 m³/s bij Borgharen-Dorp (de Haas, 1999 en van Beesen, 1999). Dit wordt hier de "werklijn 3800" genoemd. In tabel 2-1 zijn enkele karakteristieke afvoeren behorende bij deze werklijn gepresenteerd, samen met de waarden uit Passchier (1995). Deze laatste werklijn is nooit officieel vastgesteld, maar is wel veel toegepast, zoals bijvoorbeeld voor de Maaswerken. Het blijkt dat de karakteristieke topafvoeren wat lager worden.

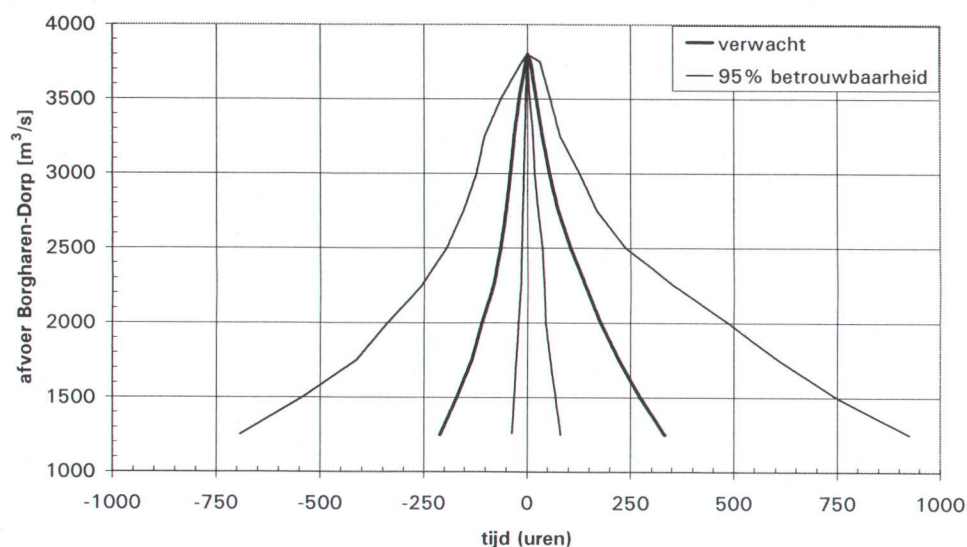
Voorgesteld wordt om voor de VVM-studie gebruikt te maken van de "werklijn 3800".

Herhalingstijd [jaren]	Afvoer [m^3/s]	
	Werklijn 3800	Passchier (1995)
50	2710	2810
250	3275	3380
1250	3800	3935

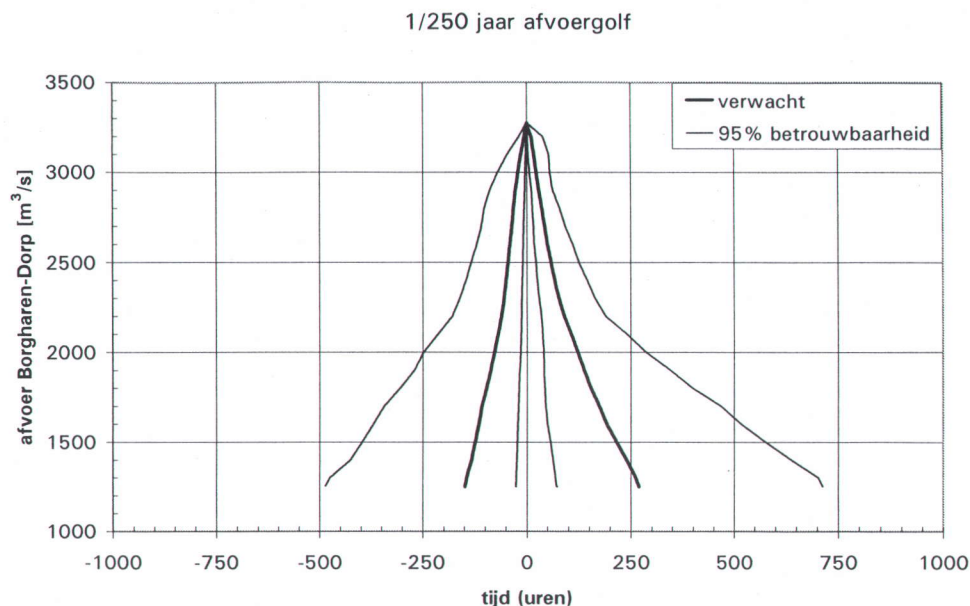
tabel 2-1 werklijn 3800 vergeleken met voorgaande versie

Door Vrisou van Eck en Klopstra (1998) zijn de spitse, gemiddelde en stompe afvoergolf bij Borgharen-Dorp bepaald met een herhalingstijd van 1250 jaar. De spitse en stompe golf representeren de 95% betrouwbaarheidsband. In het kader van de studie van HKV LIJN IN WATER is tevens een programma ontwikkeld waarmee de gemiddelde golfvorm alsmede de bandbreedte bij iedere topafvoer kunnen worden bepaald. In figuur 2-1 tot en met figuur 2-3 zijn de resultaten gepresenteerd voor topafvoeren met een herhalingstijd van respectievelijk 1250, 250 en 50 jaar.

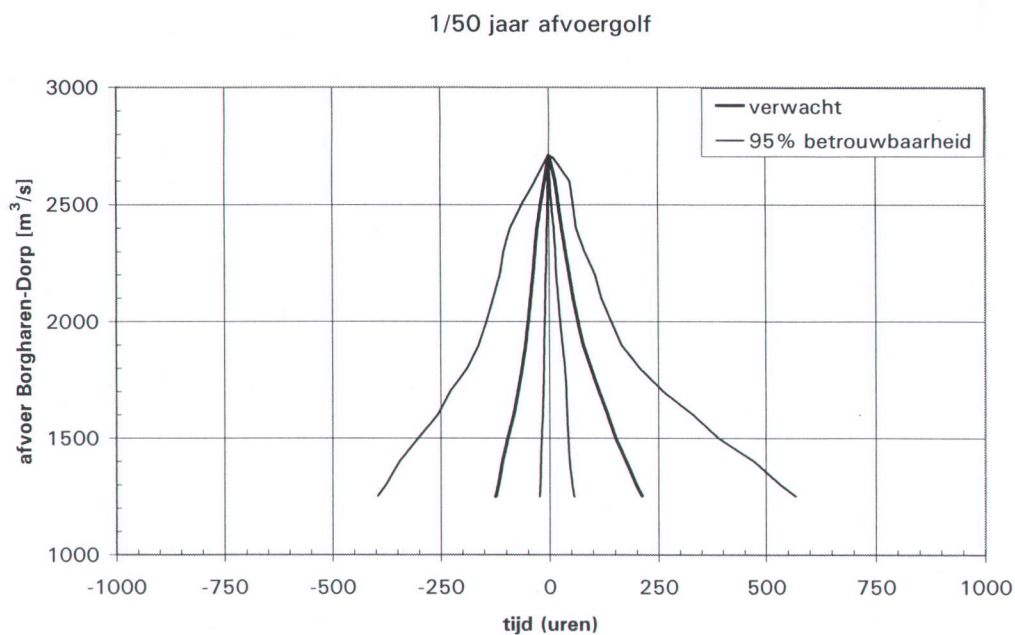
1/1250 jaar afvoergolf



figuur 2-1 Karakteristieke afvoergolven bij Borgharen-Dorp met een herhalingstijd van 1250 jaar



figuur 2-2 Karakteristieke afvoergolven bij Borgharen-Dorp met een herhalingsjijd van 250 jaar



figuur 2-3 Karakteristieke afvoergolven bij Borgharen-Dorp met een herhalingsjijd van 50 jaar

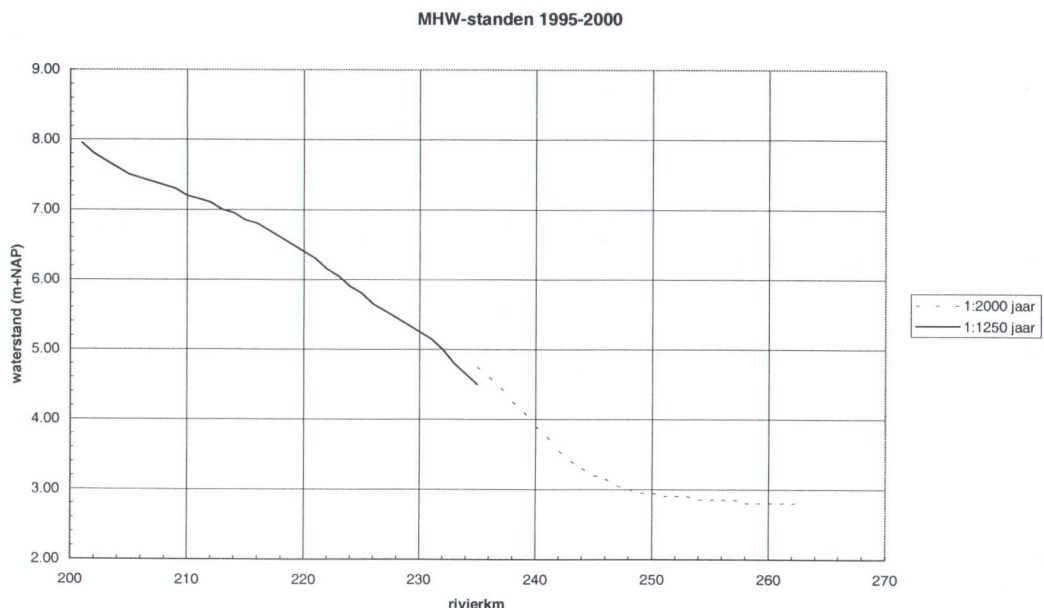
Voorgesteld wordt om voor de vvm-studie bovenstaande afvoergolven toe te passen. Daarvoor moeten deze afvoergolven worden vertaald naar de bovenrand van het SOBEK-model bij Eijsden-grens (km 2,56). Daartoe zijn voor alle karakteristieke golven de bijbehorende randvoorwaarden bij Eijsden-grens iteratief bepaald. Daarbij is er voor gezorgd dat de met SOBEK berekende golfvorm en het golfvolume bij Borgharen-Dorp zo goed mogelijk aansluit bij de golven gepresenteerd in figuur 2-1 tot en met figuur 2-3.

2.1.2 Benedenstroomse rand

Voor de benedenstroomse randvoorwaarde bij Anna Jacominaplaat wordt conform voorgaande studies (Maaswerken, Boertien II) voorgesteld om een vaste waterstand op te leggen. Een aantal berekeningen is uitgevoerd met de 1/1250 jaar afvoergolf om de meest geschikte benedenrandvoorwaarde te bepalen. Daarbij is er op gelet in hoeverre de berekende waterstanden overeenkomen met de Maatgevende Hoogwaterstanden (MHW's) 1995-2000 (RIKZ et al, 1996) en in hoeverre de benedenwaterstand effect heeft op de waterstandstoename als gevolg van een hogere afvoer (door klimaatveranderingen). In figuur 2-4 zijn de MHW's weergegeven voor de Maas benedenstreams van Lith (RIKZ et al, 1996). In het beheersgebied van de Directie Limburg worden de MHW's bepaald door waterstanden met een overschrijdingsfrequentie van 1/1250.

De eerste vraag is met welke benedenwaterstand bij de Anna Jacominaplaat de MHW's in het beheersgebied het beste worden benaderd. Hiertoe zijn 2 benedenwaterstanden beschouwd:

- 0,50 m + NAP: deze constante waterstand is meer gebruikt in voorgaande studies
- 2,50 m + NAP: uitgaande van figuur 2-4 en de lengte van de stuwkromme op dit deel van de Maas van ca 50 km (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-a), kan worden beredeneerd, dat bij een benedenwaterstand van 2,50 m + NAP de waterstand bij RKM 235 ongeveer gelijk zal zijn aan 4,50 m + NAP, hetgeen op die locatie de waterstand is met een herhalingstijd van 1250 jaar.

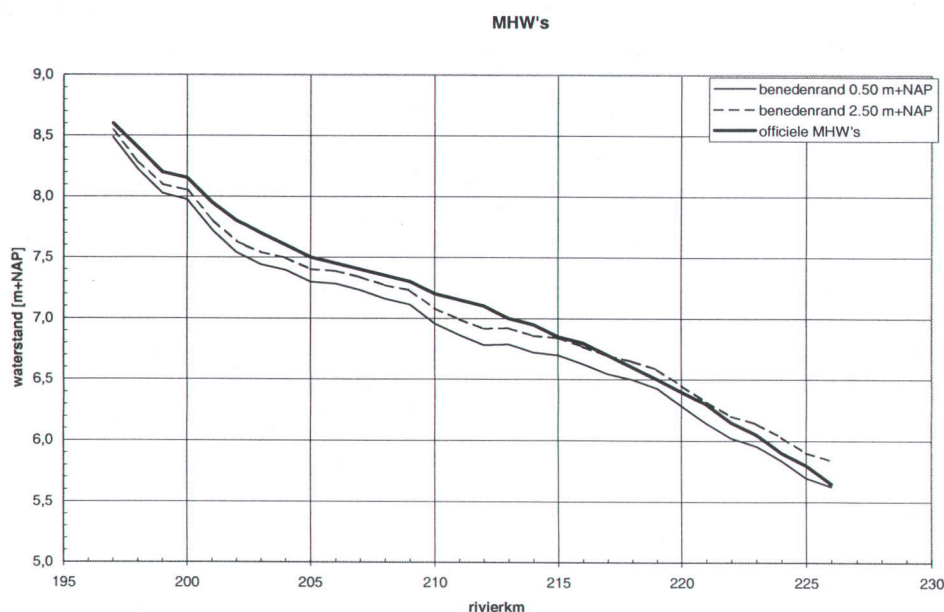


figuur 2-4 Maatgevende waterstanden 1995-2000

In figuur 2-5 zijn de berekende waterstanden met beide benedenrandvoorwaarden vergeleken met de vastgestelde MHW's. Als bovenstroomse randvoorwaarde is de gemiddelde afvoergolf met een topafvoer van 3800 m³/s bij Borgharen-Dorp opgelegd. Uit figuur 2-5 blijkt dat een benedenwaterstand van 2,50 m + NAP

berekende waterstanden oplevert die het dichtst bij de officiële MHW's liggen. Het gemiddelde verschil met de MHW's op het getoonde traject is minder dan 5 centimeter. Tevens is duidelijk dat de invloed van de benedenrandvoorwaarde snel afneemt in bovenstroomse richting (uitdempen van invloed via stuwkromme). Op het meest bovenstroomse punt van het traject is het waterstandsverschil ten gevolge van de benedenrandvoorwaarde nog slechts 5 cm.

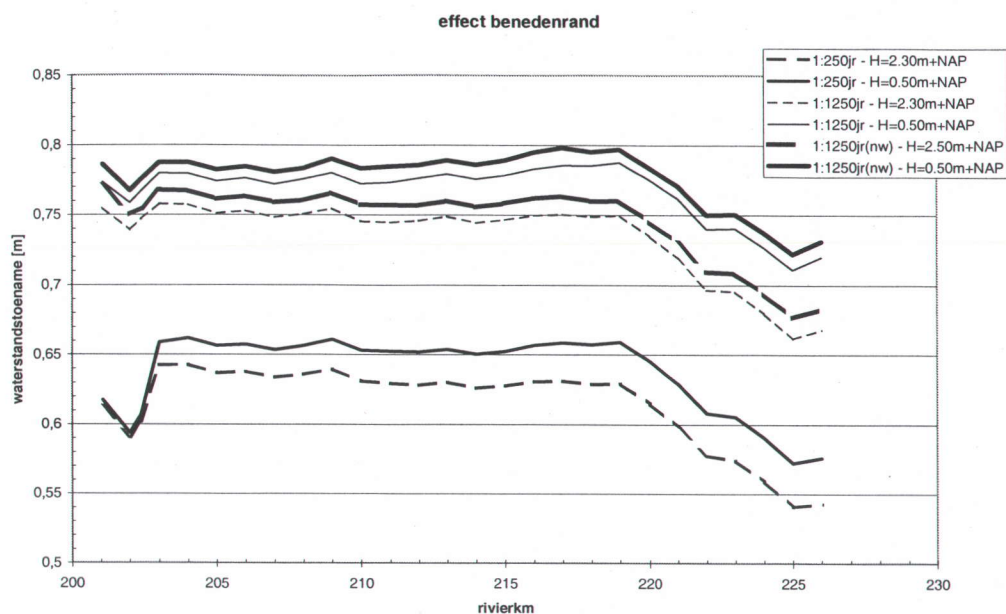
Een aanvullend argument voor het gebruik van een benedenwaterstand van 2,5 m + NAP bij de Anna Jacominaplaat wordt geleverd door de rekenprocedure ten behoeve van het randvoorwaardenboek 2001. Daartoe worden voor het Maastraject waarop de MHW's worden bepaald door de rivierafvoer, de waterstanden berekend met een WAQUA-model met de benedenrand ter hoogte van Keizersveer (KMR 246). Als benedenrandvoorwaarde voor de berekeningen wordt een waterstand van rond de 3 m + NAP gehanteerd. Deze waterstand correspondeert het beste met een waterstand bij Anna Jacominaplaat van 2,5 m + NAP.



figuur 2-5 Berekende ($Q_{\text{Borgharen}} = 3800 \text{ m}^3/\text{s}$) en vastgestelde MHW's

De tweede vraag betreft de invloed van de benedenrandvoorwaarde op de waterstandsverandering als gevolg van een afvoertoename. Daartoe zijn berekeningen uitgevoerd waarbij de opgelegde afvoeren op de bovenrand met 20% zijn verhoogd. In figuur 2-6 is het waterstandseffect van de afvoertoename gepresenteerd voor de afvoergolven met herhalings tijden van 250 en 1250 jaar. De berekeningen zijn uitgevoerd met een voorgaande versie van het SOBEK-model voor de huidige situatie (versie 1998.1) en voorgaande versies van werklijn ($Q_{\text{Borgharen}}(1/1250) = 3935 \text{ m}^3/\text{s}$, Passchier, 1995) en golfvorm¹. Bovendien is de gevoeligheidsanalyse eind 1998 uitgevoerd met benedenstroomse waterstanden van 0,5 en (destijds nog) 2,3 m + NAP.

¹ De berekeningen voor deze analyse zijn eind 1998 uitgevoerd toen het nieuwe SOBEK-model (versie 1999.1), alsmede de werklijn 3800 m³/s en de golfvorm nog niet beschikbaar waren.



figuur 2-6 Invloed verhoogde rivierafvoer en benedenwaterstand op de rivierwaterstanden

Het blijkt dat met een benedenwaterstand van 0,50 m + NAP in de huidige situatie het effect van de afvoertoe name het grootst is, al zijn de verschillen beperkt (kleiner dan 5 cm). Op basis van een controle-berekening voor de 1/1250 jaar afvoer wordt bevestigd, dat de resultaten met de meest recente versies van SOBEK-model (versie 1999.1), werklijn, golfvorm en benedenrandvoorwaarde (2,5 m + NAP i.p.v. 2,3 m + NAP) hetzelfde beeld te zien geven (zie lijnen "1:1250jr(nw) - H = 0.50m + NAP" respectievelijk "1:1250jr(nw) - H = 2.50m + NAP" in figuur 2-6).

Uit bovenstaande analyses naar aanleiding van de twee vragen volgt de aanbeveling om voor de VVM-studie de benedenstroomse randvoorwaarde van 2,50 m + NAP voor de referentiesituatie te hanteren. Met deze randvoorwaarde, de nieuwe concept-werklijn en de golfvorm worden de vastgestelde MHW's redelijk benaderd en wordt goed aangesloten bij de werkwijze ten behoeve het randvoorwaardenboek 2001. De waterstandseffecten door klimaatverandering voor deze benedenwaterstand zijn weliswaar kleiner dan bij een lagere benedenwaterstand van 0,5 m + NAP, maar de verschillen zijn gering.

2.2 Toekomstige situatie

Door klimaatveranderingen zullen de rivierafvoeren en de zeespiegel naar verwachting wijzigen. Voor de komende eeuw voorspelt het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995) een toename van de wereldgemiddelde temperatuur en een versterking van de hydrologische cyclus. In de Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling (1997) wordt samengevat dat de wereldgemiddelde temperatuur in 2050 een halve tot 2 graden hoger zal zijn dan in 1990, met als centrale schatting 1°C. Voor 2100 worden dubbele wereldgemiddelde temperatuurstijgingen verwacht. Können en Fransen (1996) stellen dat onder de aanname van ongewijzigde

atmosferische circulatiepatronen, de temperatuurstijging in Nederland niet sterk zal afwijken van wereldgemiddelde waarden.

2.2.1 Klimaatveranderingen en afvoer

Door de Wildt & Können (1996) worden de wereldgemiddelde waarden vertaald naar neerslageffecten in Nederland voor het jaar 2050. De jaarlijkse neerslaghoeveelheid zal toenemen met 2 tot 5%, waarbij de toename zich concentreert in de winter. De neerslaghoeveelheid in situaties met langdurige, hevige winterneerslag zal toenemen met 5 tot 20%.

In Parmet en Burgdorffer (1995) wordt verwezen naar onderzoek van KNMI en IMAU, waarin wordt aangegeven dat voor Nederlandse winteromstandigheden 1°C temperatuurstijging overeenkomt (centrale schatting) met 10% extra neerslag in langdurig natte perioden. Volgens het KNMI (de Wildt & Können, 1996) wordt hiervan de helft veroorzaakt door een toename van de neerslagintensiteit en de andere helft doordat het op dagen met neerslag langduriger regent. Door Parmet en Burgdorffer (1995) zijn berekeningen uitgevoerd met het hydrologisch model FLOFOM. Voor historische hoogwaters van december 1993 en januari 1995 resulteerde een neerslagtoename van 20% in een toename van de topafvoer van 17%. Gezien alle onzekerheden wordt de toename in afvoer afgerond op 20%, ofwel relatieve neerslagtoename en afvoertoe name zijn gelijk. Deze duidelijke relatie kan worden verklaard door de hoge afvoercoëfficiënt in het stroomgebied van de Maas tijdens natte omstandigheden. Door deze duidelijke toename van de topafvoeren zouden de herhalingstijden van de hoogwaters van december 1993 en januari 1995 afnemen van 120 en 65 jaar tot respectievelijk 40 en 20 jaar (Parmet en Burgdorffer, 1995). Uit de verkennende berekeningen blijkt tevens dat de golfvorm in de toekomstige situatie goed kan worden benaderd door de golf lineair op te schalen (het gehele afvoerloop met 20% verhogen). Deze manier van opschalen wordt ook voorgesteld voor andere klimaatscenario's en golfvormen.

2.2.2 Klimaatveranderingen en zeespiegel

Door het stijgen van de temperatuur is de zeespiegel langs de Nederlandse kust al zo'n 20 à 30 cm gestegen sinds 1850. Naast deze stijging is er ook sprake van een daling van de bodem. Het gezamenlijke effect is de relatieve zeespiegelstijging. Deze stijging bedraagt momenteel 20 cm per eeuw (Rijkswaterstaat, 1997).

De veranderingen van de zeespiegel zijn gebaseerd op de volgende factoren: de thermische expansie van oceaanwater, de veranderingen in de massa's landijs van Groenland en Antarctica en veranderingen van de kleinere ijskappen en gletsjers. De waarde van de toekomstige zeespiegelstijging berekend met diverse modellen loopt uiteen van 23 tot 66 cm in 100 jaar.

Door het IPCC (1995) wordt de gemiddelde stijging van de zeespiegel geschat op 40 cm in de komende 100 jaar. Echter door de overgang van de kleine ijstijd naar onze tijd en de permanente daling van de Nederlandse kust moet hier nog 20 cm bij worden opgeteld. Dit resulteert in een stijging van ongeveer 60 cm de komende 100 jaar. Gezien de grote onzekerheden wordt er door Rijkswaterstaat een verwachte

relatieve zeespiegelstijging van 60 cm aangehouden voor het jaar 2100 (RIZA et al.; 1998). Als bovengrens wordt 85 cm zeespiegelstijging beschouwd.

Volgens de centrale schatting van het IPCC (1995) zal de zeespiegel in 2050 met 20 cm gestegen zijn ten opzichte van 1990. Op grond hiervan wordt voor Nederland uitgegaan van een relatieve zeespiegelstijging van 25 cm in 2050, waarvan 15 cm wordt veroorzaakt door een versterkt broeikaseffect en 10 cm door een autonome stijging van de zeespiegel. De bovengrens voor het scenario met broeikaseffect wordt door de Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling (1997) geschat op 40 cm. Door Rijkswaterstaat, RIZA (1997) wordt echter een bovengrens van 45 cm aangehouden.

In tabel 2-2 zijn de diverse scenario's samengevat.

Scenario	Ondergrens (cm)	centrale schatting (cm)	bovengrens (cm)
2050	10	25	45
2100	20	60	85

tabel 2-2 Zeespiegelstijging per scenario

Uit de tabel blijkt de verwachting dat na 2050 de stijging van de zeespiegel sneller zal verlopen (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997 en RIZA, 1997).

Voor vertaling van de zeespiegelrijzing naar de waterstandstoename bij Anna Jacominaplaat wordt gebruik gemaakt van de informatie uit het rapport "Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen" (RIKZ et al, 1996) en een studie uitgevoerd door RIZA (Snippen en Blom, 1999). RIKZ et al (1996) concludeert dat onder MHW-omstandigheden een waterstandsverhoging bij Hoek van Holland van 10 cm resulteert in een waterstandstoename van 7 cm bij Anna Jacominaplaat. In Snippen en Blom (1999) is de invloed van zeespiegelrijzing op de Rijntakken bepaald. In RIKZ et al (1996) is bepaald dat 10 cm zeespiegelrijzing een waterstandstoename geeft van ca 2 cm² en 1 cm³ bij respectievelijk Schoonhoven (Lek) en Vuren (Waal). In Snippen en Blom (1999) zijn de waterstandstoenames bepaald bij meerdere waarden voor de zeespiegelrijzing. In tabel 2-3 zijn de resultaten samengevat. In de kolommen 3 en 5 is omgerekend hoeveel de waterstandstoename bij Schoonhoven en Vuren is per 10 cm zeespiegelrijzing.

² Van km 966-972 gemiddeld 2 cm stijging, op traject km 973-989 gemiddeld 3 cm. Bij km 971 (Schoonhoven) ligt de stijging dus naar verwachting tussen 2 en 3 cm.

³ Van km 952-959 gemiddeld 1 cm stijging, meer benedenstrooms is de stijging uiteraard groter. Bij km 951,8 (Vuren) is de stijging dus maximaal 1 cm.

Zeespiegelrijzing [m]	Waterstandstoename Schoonhoven (km 971)		Waterstandstoename Vuren (km 951,8)	
	[m]	[m/10 cm]	[m]	[m/10 cm]
0,03	0,007	0,023	0,002	0,007
0,10	0,024	0,024	0,006	0,006
0,14	0,034	0,024	0,009	0,006
0,45	0,116	0,026	0,031	0,007
Gemiddeld per 0,10 m		0,024		0,007

tabel 2-3 effect zeespiegelrijzing op waterstanden Schoonhoven en Vuren (Snippen en Blom, 1999)

Het blijkt dat de waarden uit tabel 2-3 en RIKZ et al (1996) goed overeenkomen en dat de verhouding zeespiegelrijzing/waterstandstoename niet erg afhankelijk is van de grootte van de zeespiegelrijzing. In de studie van Snippen en Blom (1999) is tevens de waterstandstoename bij de Anna Jacominaplaat bepaald, als gevolg van de beschouwde scenario's voor de toename van de zeespiegel. De resultaten zijn echter niet opgenomen in de rapportage, maar beschreven in een brief (Van der Linden, 2000). De resultaten geven aan dat iedere 10 cm zeespiegelrijzing resulteert in een waterstandstoename van ca 8 cm bij de Anna Jacominaplaat. Dit betekent dus een geringe wijziging ten opzichte van de resultaten van (RIKZ et al, 1996). Voor de VVM-studie wordt voorgesteld om uit te gaan van de meest recente gegevens uit Van der Linden (2000). Dit komt neer op 8 cm, 20 cm en 36 cm waterstandstoename bij waarden voor de zeespiegelrijzing van respectievelijk 10 cm, 25 cm en 45 cm.

2.2.3 Klimaatveranderingen en getij

Behalve de gemiddelde zeestand is ook het getij aan verandering onderhevig. Het tijverschil neemt op bijna alle plaatsen in Nederland toe. Het hoogwater stijgt sneller dan de zeespiegel, gemiddeld zo'n 5 cm per eeuw, en het laagwater stijgt gemiddeld zo'n 5 cm langzamer dan de zeespiegel. Voor een groot deel wordt dit veroorzaakt door menselijk ingrijpen, met name door het uitdiepen van vaargeulen (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997). In dit onderzoek zal verder geen aandacht worden besteed aan de veranderingen van het getij. Voor de benedenrandvoorwaarde zal per berekening een vaste waterstand worden aangehouden. Op deze manier kan zuiverder het effect van afvoertoe name en maatregelen in de Maas worden berekend, ook in het door zeewaterstand beïnvloedde deel van de Maas.

2.2.4 Klimaatveranderingen en bodemligging

Door de zeespiegelstijging en de veranderingen van het getij zullen lage delen van het estuarium frequenter overstroomd worden. Hierdoor zal de sedimentatie toenemen, wat tot een verhoging van de bodemligging zal leiden. Op den duur zal ook verder stroomopwaarts in de rivieren sedimentatie optreden, wat op een termijn van

tientallen jaren ook in de benedenloop van de grote rivieren tot een verhoging van de waterstanden kan leiden (Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997). Aangezien er geen gedetailleerde informatie beschikbaar is over de gevolgen van de zeespiegelstijging op de bodemligging van de Maas en de tijdschaal voor morfologische veranderingen groot is, zal er in deze studie worden uitgegaan van een onveranderde bodemligging.

2.3 Conclusies

Voor de VVM-studie wordt voorgesteld om voor de referentiesituatie uit te gaan van de laatste inzichten betreffende de werkklijn en de golfvorm. Voor de benedenrandvoorwaarde bij de Anna Jacominaplaat wordt een vaste waterstand van 2,5 m + NAP voorgesteld.

De centrale schatting van de toename van de temperatuur in het stroomgebied van de Maas in 2050 is 1 °C ten opzichte van de temperatuur in 1990. De onder- en bovengrens van deze schatting zijn resp. 0,5 en 2 °C. In het stroomgebied van de Maas heeft een temperatuurstijging van 1 °C een neerslag- en afvoertoe name van ca 10% tot gevolg. Door een temperatuurstijging van 0,5 , 1 en 2 °C zal de afvoer van de Maas bij hoogwater naar verwachting toenemen met respectievelijk 5, 10 en 20%. Voorgesteld wordt om de afvoergolven op de bovenrand lineair op te schalen. Voor de laterale instromingen worden de relaties tussen de Maasafvoer en zijdelingse in- en uitstromingen gebruikt, zoals deze voor de huidige situatie gelden (RIZA, 1997-c).

Voor wat betreft de zeespiegelrijzing wordt uitgegaan van de centrale schatting van de zeespiegelstijging voor 2050. Deze is gelijk aan 25 cm stijging ten opzichte van het niveau in 1990. De bijbehorende onder- en bovengrens zijn respectievelijk 10 cm en 45 cm.

Bij een stijging van de zeewaterstand van 25 cm is de stijging van de waterstand bij de Anna Jacominaplaat gelijk aan ca 20 cm ten opzichte van de situatie in 1990. De onder- en bovengrens resulteren in een stijging van respectievelijk 8 en 36 cm.

Voor de golfvorm in het zichtjaar wordt voorgesteld de te hanteren golfvormen voor de huidige situatie op te schalen tot de nieuwe topafvoeren worden bereikt.

In tabel 2-4 worden de voorgestelde randvoorwaarden samengevat voor de VVM-studie voor zowel de referentiesituatie, alsmede de situatie in 2050 (zichtjaar). De topafvoeren voor het zichtjaar zijn afgerond op 5 m³/s nauwkeurig.

		Referentie- situatie	Zichtjaar		
			ondergrens	Verwachting	bovengrens
Golfvorm ^{a)}		Nieuw	Nieuw opgeschaald		
Topafvoer [m ³ /s]	1/50	2710	2845	2980	3250
	1/250	3275	3440	3605	3930
	1/1250	3800	3990	4180	4560
Benedenwaterstand [m + NAP]	1/50	2,50	2,58	2,70	2,86
	1/250	2,50	2,58	2,70	2,86
	1/1250	2,50	2,58	2,70	2,86

^{a)} hiermee wordt bedoeld spits, gemiddeld en stomp

tabel 2-4 voorstel randvoorwaarden voor VVM

3 Speciale maatregelen

In dit onderdeel van de studie is gekeken naar de (on)mogelijkheden die het VVM-BOS biedt, om de effecten van de eventueel uit te voeren speciale maatregelen langs de Maas te berekenen. Voorbeelden van dit soort maatregelen zijn stroomvoering en/of berging in kanalen, stroming over de A2 bij Maastricht of via de Beersche overlaat.

3.1 Mogelijkheden VVM-BOS

Met het VVM-BOS is het mogelijk om de effecten van de volgende maatregelen in de hoofdgeul te berekenen:

- baggeren in het zomerbed;
- terugstorten van sediment;
- vaste laag in het zomerbed;
- verbreden van het zomerbed.

Daarnaast kunnen de effecten van de volgende integrale maatregelen worden berekend:

- verwijderen van een zomerkade;
- nevengeul (groot en klein);
- verlagen van het winterbed;
- uiterwaardverbreding;
- dijkverhoging;
- gedeeltelijke weerdverlaging;
- natuurvriendelijke oevers;
- retentie in het winterbed (het winterbed wordt smaller);
- retentie buiten het winterbed.

Het is niet mogelijk met het VVM-BOS om maatregelen in te voeren, die de SOBEK-takken overschrijden. Met andere woorden de begin- en eindraaien van de maatregel moeten binnen de riviertakken liggen. Natuurlijk kan een maatregel wel in opeenvolgende takken worden ingevoerd. In het model zijn de volgende takken gedefinieerd.

SOBEK-tak	KMR	SOBEK-tak	KMR
StuBor 1	2.56 – 14.60	LateKan	0.00 – 6.35
StuBor 2	14.60 – 15.25	StuBelf	85.08 – 102.70
StuBor 3	15.25 – 16.00	StuSamb	102.70 – 147.65
GrensM 1	16.00 – 16.60	StuGrav	147.65 – 177.00
GrensM 2	16.60 – 67.30	StuLith	177.00 – 202.38
GrensM 3	67.30 – 68.97	GetijMaa 1	202.38 – 248.03
StuLiRo	67.34 – 85.08	GetijMaa 2	248.03 – 262.82

tabel 3-1 SOBEK-takken

Als een maatregel op een hele riviertak wordt toegepast, worden de begin- en eindraai ook meegenomen. Volgens de handleiding van het IVR-DSS (WL|delft hydraulics; 1998) wordt bij toepassing van dezelfde maatregel op aansluitende takken

het dwarsprofiel op de tussenliggende raai 2 maal aangepast. Een controle heeft echter aangetoond dat dit in het VVM-BOS niet optreedt.

Maatregelen van hetzelfde type mogen elkaar niet overlappen. Er mag bijvoorbeeld niet op hetzelfde profiel 2 maal uiterwaardverlaging worden toegepast. De verlaging moet buiten het VVM-BOS worden gesommeerd.

Het is in het VVM-BOS niet mogelijk om de effecten van een nevengeul te bepalen middels het toevoegen van een SOBEK-tak. Hiertoe dienen in SOBEK (buiten het VVM-BOS om) twee knopen te worden gedefinieerd in de hoofdgeul ter plaatse van de aan- en aftakking, wordt de bestaande tak opgedeeld in 3 takken en wordt een extra tak toegevoegd aan het model. Het invoegen van een nevengeul op deze manier is dus nogal bewerkelijk.

Wel kan een nevengeul in het VVM-BOS op een grove maar betrekkelijk eenvoudige manier worden gesimuleerd door een onttrekking en een toevoeging van water aan de hoofdgeul (lateraal debiet). Het desbetreffende debiet wordt dan gedefinieerd als functie van de waterstand en het verhang in de hoofdgeul. In het VVM-BOS zijn de benodigde tabellen met waterstanden als functie van de afvoer en het waterspiegelverhang opgenomen. De gebruiker geeft vervolgens de begin- en eindcoördinaat van de nevengeul op, de lengte ervan, alsmede de omvang (keuze tussen kleine en grote nevengeul). Tot het niveau 'bankfull' berekent het VVM-BOS de laterale debieten op basis van de tabellen en opgegeven dimensies. Voor hogere afvoerniveaus wordt de nevengeul in het VVM-BOS gesimuleerd als uiterwaardverlaging.

Uit bovenstaande blijkt dat de nevengeuloptie een grove (waterstands- en verhangtabellen zijn star en houden geen rekening met effecten van andere ingrepen) en beperkte (bv. alleen keus tussen kleine en grote geul) maatregel is. Aangezien in de VVM-studie alleen hoogwatersituaties worden beschouwd, wordt voorgesteld om nevengeulen net als hoogwatergeulen te simuleren door middel van uiterwaardverlaging. De mate van verlaging wordt dan bepaald door de doorstroomoppervlakte van de geul.

Het aanpassen van kunstwerken, zoals bijvoorbeeld het verruimen van het doorstroomprofiel van bruggen, kan niet direct via het VVM-BOS. Wel is het mogelijk om de kunstwerken handmatig aan te passen in de onderliggende SOBEK-schematisatie en de effecten vervolgens via het VVM-BOS te bepalen.

3.2 Overzicht maatregelen

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de mogelijke bijzondere ingrepen, of ze realistisch lijken en hoe in de VVM-studie het hydraulisch effect ervan kan worden bepaald. Bij de selectie van de bijzondere maatregelen is gekeken naar eerder uitgevoerde Maasstudies (Boertien I en II, Maaswerken, benedenstroomse effecten), alsmede verkennende inrichtingsschetsen en bijbehorende beschrijving van Directie Limburg (Helmyr, 1998).

Kanalen

De kanalen kunnen worden benut als extra bergingsruimte en/of afvoermogelijkheid. Momenteel zijn voor een dergelijke toepassing de sluizen (afmetingen) wellicht beperkt en kunnen er problemen ontstaan met de bestaande oeverbekleding.

- Via het Albertkanaal en de Kempense kanalen (bijv. de Zuid-Willemsvaart) kan water worden afgevoerd naar de Schelde. Door de sluizen in het Albertkanaal kunnen afvoeren van ca 25 m³/s verwerkt worden. De afvoercapaciteit van de sluizen in de kleinere Kempense kanalen is nog kleiner. In 'Onderzoek Watersnood Maas, deelrapport 12' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-b) is daarom geconcludeerd dat deze maatregel niet geschikt is. In de schematisatie is een onttrekking opgenomen van de Zuid-Willemsvaart. Tevens is een instroompunt bij Ternaaien gedefinieerd. Meestromen van de kanalen kan worden gesimuleerd door aanpassingen van de grootte van de laterale onttrekkingen die in het VVM-BOS zitten, of door aanpassing van de bovenstroomse randvoorwaarde (bijvoorbeeld in geval van meestromen van het Albertkanaal).
- In het Combinatie Alternatief (Maaswerken) zijn de volgende maatregelen opgenomen: het meestromen van het Lateraalkanaal via een overlaat bij KMR 74.4 samen met verdiepen van het zomerbed tussen stuw Linne en de overlaat en het inzetten van gebieden ten westen van het Lateraalkanaal als retentiegebieden (KMR 67.34N en 85.075). Omdat het Lateraalkanaal is opgenomen in de schematisatie als een aparte tak, is het mogelijk om met het instrumentarium het inzetten van het gebied ten westen van het Lateraalkanaal als retentiegebied te simuleren. Het meestromen van het Lateraalkanaal via een overlaat kan met het VVM-BOS worden gesimuleerd, omdat deze overlaat in de SOBEK schematisatie is opgenomen als een waterstands-afvoerrelatie.
- Het lozen van water op de Waal via het Maas- Waalkanaal of St. Andries. In "Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen" (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993) en het onderzoek naar de benedenstroomse effecten van de Maaswerken (Wijbenga, 1997) is onderzocht of afleiding van Maaswater op de Waal haalbaar is. Uit deze onderzoeken blijkt dat de hoogwaters op de beide rivieren sterk gecorreleerd zijn en dat de waterstanden op de Maas lager zijn dan op de Waal. Lozing van water door benutting van verval is derhalve niet aan de orde. Eventueel kan worden gedacht aan overpompen van water, al is die maatregel zeer kostbaar. Aangezien ter plaatse van het Maas-Waalkanaal een laterale onttrekking is gedefinieerd (in huidige situatie 1 m³/s constant), kan de maatregel op deze locatie wel worden gesimuleerd door aanpassing van de grootte van de laterale onttrekking. Bij St. Andries is geen laterale onttrekking gedefinieerd. Daar kan de maatregel derhalve niet met het VVM-BOS worden gesimuleerd.
- Retentie in het Julianakanaal. Om retentie in het kanaal na te bootsen kan de retentiemaatregel worden toegepast op het wel in het model opgenomen deel van het kanaal nabij Borgharen. Hierbij moet wel gecontroleerd worden of het kanaal voldoende capaciteit heeft voor de toestroming naar de retentiegebieden.
- Afvoer via het Julianakanaal. De afvoercapaciteit van de sluizen in het kanaal bedraagt 65 m³/s. De afmetingen van het kanaal zijn dermate klein dat het vergroten van de capaciteit van de sluizen onvoldoende is om een substantieel deel van de afvoer via dit kanaal af te leiden. Het Julianakanaal is in de SOBEK schematisatie opgenomen als laterale onttrekking op basis van constante

afvoeren. Deze maatregel is te simuleren door het vergroten van de laterale onttrekking in het VVM-BOS.

Retentie

In diverse verkenningen zijn locaties naar voren gekomen als mogelijke retentiegebieden. Belangrijke voorbeelden hiervan zijn:

- Heeswijk KMR 167 (200 ha, 4 m waterdiepte)
- Kraaijenbergse plassen KMR 168 (500 ha, 2 m waterdiepte)
- Deursen KMR 183 (300 ha, 4 m waterdiepte)
- Maasbommel KMR 192 (ontzandingslocatie F3)
- Maren- Kessel KMR 200 (2500 ha, 4 m waterdiepte).
- Opslag van water in de ENCI groeve bij Maastricht. Hierin kan 25 miljoen m³ worden geborgen. Deze maatregel biedt pas op lange termijn (na 2025) voldoende mogelijkheden.

De locaties in het winterbed kunnen worden gemodelleerd door een dijkverlegging en retentie in het winterbed. De locaties buiten het winterbed kunnen als retentiegebied worden gekoppeld aan de schematisatie.

Hydraulische knelpunten

In het SOBEK-model versie 1998.1 van de referentiesituatie ofwel huidige situatie (van der Veen et al, 1998) zijn bruggen die bij hoge afvoeren opstuwing geven als kunstwerk geschematiseerd. In de vernieuwde versie van het SOBEK-model (versie 1999.1, Klopstra et al, 1999) zijn dezelfde kunstwerken opgenomen. De mate van opstuwing is afgeleid uit beschikbare WAQUA-berekeningen. Indien een brug of andere constructie niet als kunstwerk is opgenomen, wordt verondersteld dat het hydraulisch effect ervan gering is. Bovendien is door Rijkswaterstaat Directie Limburg een lijst samengesteld met (mogelijke) knelpunten in de Maas. Hierna zijn de maatregelen opgesomd om deze (mogelijke) hydraulische knelpunten op te lossen en is aangegeven of het knelpunt is opgenomen in de schematisatie.

- Het vergroten van het doorstroomprofiel van 2 bruggen in Maastricht bij KMR 13 en 12. De St. Servaesbrug bij KMR 13 is opgenomen in het model, de ander brug niet.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de brug bij Maaseik (KMR 52). Deze brug is opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de Eilandbrug tussen Stevensweert en het Julianakanaal KMR 61. Deze maatregel wordt alleen uitgevoerd in combinatie met het aanleggen van de nevengeul langs het Julianakanaal.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de spoorbrug bij KMR 84 en de brug van de N280 (KMR 80) ter hoogte van Roermond. Allebei de bruggen zijn opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de spoorbrug/weg bij KMR 108 en de brug van de A67 bij KMR 111 bij Venlo. Deze bruggen zijn niet opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de Koninginnenbrug en de verkeersbrug Well van de N270 bij Wanssum (KMR 132). Deze bruggen zijn niet opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van de brug van de A77 bij Boxmeer (KMR 151). Deze brug is niet opgenomen in de schematisatie.

- Het vergroten van doorstroomprofiel van de brug bij Genneep (KMR 154). Dit knelpunt is opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de spoorbrug bij Mook (KMR 165). Deze spoorbrug is opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de spoorbrug bij Ravenstein (KMR 183). Deze spoorbrug is niet opgenomen in de schematisatie.
- Het verlagen van de veerstoepen bij Lith (KMR 202). Aangezien de veerstoepen niet hoogwatervrij zijn, kan deze maatregel worden gesimuleerd met behulp van uiterwaardverlaging. De maatregel wordt dan wel uitgesmeerd over een SOBEK-vak.
- Het aanpassen van de verbindingsweg met het schiereiland bij Alem (KMR 210). Dit knelpunt is niet opgenomen in de schematisatie. Als het gebied achter de verbindingsweg in de referentiesituatie stroombergend is en in de nieuwe situatie stroomvoerend is, moet de schematisatie handmatig worden aangepast.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de brug van de A2 bij Oud Empel (KMR 217). Deze brug is niet opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de spoorbrug bij Hedel (KMR 219). Deze spoorbrug is niet opgenomen in de schematisatie.
- Het vergroten van het doorstroomprofiel van de brug N831 bij Hedel (KMR 220). Deze brug is niet opgenomen in de schematisatie.

Als een hydraulisch knelpunt is opgenomen in de schematisatie kan deze handmatig worden aangepast (door wijziging stroombreedte en/of drempelhoogte, alsmede een aanpassing van de stroomvoering in aangrenzende vakken). Indien een locatie niet als kunstwerk in de schematisatie is opgenomen, is er naar verwachting niet echt sprake van een knelpunt. Verwijdering van een dergelijk 'knelpunt' is alleen mogelijk door aanpassing van het lokale dwarsprofiel.

Voorgesteld wordt om een studie uit te voeren waarin de hydraulische knelpunten worden geïnventariseerd op basis van de meest recente WAQUA-resultaten (waterstandsverhanglijnen en stroombaankaarten). In een dergelijke studie kan het waterstandseffect van knelpuntverwijdering worden ingeschat middels enkele aanvullende WAQUA-berekeningen.

Neven- en hoogwatergeulen

Hieronder zijn de in diverse plannen beschreven neven- en hoogwatergeulen weergegeven en de (on)mogelijkheid om het effect van de nevengeul te bepalen met behulp van het VVM-BOS.

- Een nevengeul op de rechteroever tussen Eijsden en Maastricht. Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- Het meestromen van de A2 bij Maastricht. Deze geul ligt buiten het winterbed in verschillende SOBEK-takken. Aangezien het winterbed niet breed genoeg is kan het effect van deze maatregel niet worden gesimuleerd door middel van weerdverlaging. Deze maatregel kan eventueel wel worden berekend door het toepassen van een dijkverlegging en een weerdverlaging. Overwogen kan worden om voorafgaande hieraan een SOBEK-model te maken waarin de hoogwatergeul als extra tak is opgenomen. De resultaten van de berekeningen met dit model kunnen worden gebruikt ter verificatie van de omvang van dijkverlegging en weerdverlaging.

- De nevengeul op de rechteroever bij Maastricht tussen Borgharen en Itteren. Deze geul ligt in verschillende SOBEK-takken en kan worden gesimuleerd door middel van weerdverlaging.
- De nevengeul(en) op de rechteroever tussen Born en Echt (KMR 42-52). Deze nevengeul(en) kan (kunnen) worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul via de loop van de Oude Maas vanaf de overlaat bij het voormalig fort Contelmo (rechteroever KMR 54,5) tussen Echt en Linne (KMR 55-65). Hiertoe moet de betreffende overlaat worden verlaagd en een nevengeul (of beter weerdverlaging) worden toegevoegd. Aangezien de overlaat niet als fysiek element in de schematisatie zit, kan de nevengeul direct via weerdverlaging worden gesimuleerd.
- De nevengeulen op de linker- en rechteroever bij Roermond. Deze liggen in verschillende takken en kunnen worden gesimuleerd door middel van weerdverlaging. De Groene rivier bij Roermond is reeds opgenomen als lateraal debiet.
- De nevengeul op de linkeroever bij Venlo. Deze geul ligt buiten het winterbed en in verschillende takken. Het winterbed bij Venlo is waarschijnlijk te smal om het effect van een nevengeul te simuleren met behulp van een weerdverlaging. Het winterbed kan worden verbreed door middel van een dijkverlegging.
- De nevengeul op de rechteroever bij Boxmeer. Deze geul ligt in verschillende takken en kan worden gesimuleerd door weerdverlaging in beide takken.
- De nevengeul op de rechteroever bij Mook (KMR 159-164). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de rechteroever bij Nederasselt (KMR 172-176). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de linkeroever bij Overlangel (KMR 176-180). Deze nevengeul ligt in 2 verschillende takken en kan worden gesimuleerd door weerdverlaging in beide takken.
- De nevengeul op de rechteroever bij Neerloon (KMR 176-181). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de rechteroever bij Batenburg (KMR 185-186). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de linkeroever tussen Dieden en Megen (KMR 187-191). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de rechteroever bij Blauwe Sluis (KMR 189-192). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de linkeroever bij Macharen (KMR 192-195). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- Nevengeulen op beide oevers bij Kerkdriel (KMR 207-217). Deze nevengeulen kunnen worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.
- De nevengeul op de rechteroever bij Hedel (KMR 217-220). Deze nevengeul kan worden gesimuleerd met de nevengeul-optie, of beter door weerdverlaging.

Overlaatgebied/hoogwatergeul

Tot 1942 kon tijdens hoogwater op de Maas water worden afgeleid via de Beersche overlaat. Echter als gevolg van bebouwing lijkt herstel van deze overlaat praktisch

gezien niet mogelijk. Het is waarschijnlijk wel mogelijk om de onbebouwde delen in te richten als retentiegebied of als hoogwatergeulen. Met name het gedeelte tussen Ravenstein en Kerkdriel zou hiervoor in aanmerking kunnen komen (Hertogswetering KMR 178-214). Dit gebied ligt buiten het winterbed en doorsnijdt diverse wegen (A50, N265) en een spoorweg.

Met het vvm-BOS kan het effect van een retentiegebied worden bepaald. Het is echter niet mogelijk om met de huidige versie van het vvm-BOS het effect van dergelijke hoogwatergeulen (buiten het winterbed) te berekenen. In feite is hiervoor een aanpassing van het model noodzakelijk, in de vorm van een extra SOBEK tak (zie ook meestromen A2, zoals hiervoor beschreven).

Ook is het mogelijk om de hoogwatergeul te simuleren door een uiterwaardverlaging, eventueel in combinatie met een uiterwaardverbreding. Om de omvang van uiterwaardverlaging en/of -verbreding te bepalen kunnen berekeningen met een aangepaste SOBEK-schematisatie (met een extra tak) zinvol zijn.

Overige maatregelen

- *Afvoer via een pijpleiding/tunnel, die o.a. gebruikt wordt als spoortunnel en autosnelweg:* Tijdens hoogwater kan deze tunnel gebruikt worden voor de afvoer van rivierwater. De kosten hiervoor zijn echter economisch gezien niet verantwoord (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-b). De effecten van deze maatregel zijn alleen te bepalen door de toevoeging van een lateraal debiet in de schematisatie.
- *Bochtafsnijding:* Het nog verder rechtekken van de Maas heeft nauwelijks effect op de waterstand bij maatgevend hoogwater (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-b). Deze maatregel kan niet worden toegepast in het vvm-BOS.
- *Bochtafsnijding in het hoogwaterbed:* Bij Linne kan de hoogwatervrije dam in de sterke meanderlus worden verlaagd. Vanwege de hoge stroomsnelheden zal er een bodem- en oeversbeschermer moeten worden aangebracht. De kosten hiervan zijn zodanig dat een dergelijke maatregel niet geschikt is (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-b). Deze maatregel kan niet worden gesimuleerd met behulp van het vvm-BOS.

4 Overstroomd oppervlak

In het kader van de voorbereidende studie voor het VVM-project, is onderzocht hoe nauwkeurig het inundatieoppervlak van de Maas bepaald kan worden met het SOBEK-model van de Maas. Daarbij staan twee vragen centraal:

- Wat is de nauwkeurigheid waarmee het VVM-BOS het inundatieoppervlak voor het hele studiegebied bepaalt;
- Wat is de nauwkeurigheid van de per SOBEK-profiel berekende oppervlakte op basis van SOBEK-resultaten.

Het VVM-BOS bepaalt het inundatieoppervlak van het hele studiegebied door de per SOBEK-rekenpunt gevonden totale natte breedte (w_t) te vermenigvuldigen met de afstand waarvoor het rekenpunt "geldig" is, waarbij er van uitgegaan wordt dat dit halverwege het voorgaande en volgende rekenpunt is. In werkelijkheid is dit niet helemaal het geval omdat de vakken waarvoor de SOBEK-profielen bepaald zijn niet altijd dezelfde lengte hebben. De grenzen tussen twee SOBEK-vakken liggen daardoor niet altijd halverwege de profiellocaties c.q. rekenpunten. Het eerste wat dus onderzocht moet worden is wat de invloed van deze vereenvoudiging is op het eindresultaat.

Hiertoe is eind 1998 met behulp van het VVM-BOS (versie 1.00) in het SOBEK-model van de Maas van de huidige situatie (versie 1998.11) een integrale verlaging van het zomerbed met 1 meter geschematiseerd, waarbij vervolgens voor stationaire afvoeren van 2750 en 4000 m³/s per rekenpunt de waarde voor w_t zijn bepaald. De oppervlakttes zijn vervolgens bepaald conform de VVM-BOS methode en met gebruikmaking van de werkelijke lengtes waarvoor de SOBEK-profielen (en daarmee de rekenpunten) geldig zijn. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Methode	Q = 2750 m ³ /s	Q = 4000 m ³ /s	verschil
VVM-BOS-methode	25114	30390	5276
SOBEK-vaklengtes	25061	30324	5263
% verschil	0,2	0,2	0,2

tabel 4-1 Inundatieoppervlak (ha) studiegebied VVM berekend met SOBEK-resultaten

Hieruit blijkt dat de vereenvoudiging van het VVM-BOS ten opzichte van gebruikmaking van de werkelijke lengtes waarvoor de SOBEK-profielen geldig zijn, een verwaarloosbare invloed heeft op de bepaling van de inundatieoppervlakte. Er is geen reden om aan te nemen dat dit anders zal zijn voor de huidige versie van het VVM-BOS (VERSIE 1.20) met daarin SOBEK-model 1999.11.

De tweede vraag betreft de nauwkeurigheid van de bepaling van het inundatieoppervlak aan de hand van SOBEK-rekenresultaten. Het gaat daarbij niet alleen om de nauwkeurigheid voor het hele studiegebied maar ook per SOBEK-profiel.

Hiertoe is voor dezelfde als hierboven beschreven case het inundatieoppervlak tevens bepaald met behulp van GIS⁴. Daarbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Aangetakte plassen bevatten altijd water
- Alle cellen die lager liggen dan de waterstand in het betreffende vak dragen bij aan het inundatieoppervlak. Indien deze achter een kade liggen, dan moet de waterstand hoger zijn dan de kade. De opgegeven instroomhoogte van plassen is verwerkt in het hoogtemodel.

De inundatieoppervlakte bepaald met SOBEK-versie 1998.11 (met gebruikmaking van de waarden voor w_t en de echte vaklengtes) en GIS en de verschillen in de resultaten worden voor de afvoeren van 2750 en 4000 m³/s weergegeven in figuur 4-1 en figuur 4-2. De effectbepaling (=inundatie oppervlak bij 4000 m³/s ten opzichte van 2750 m³/s) is voor beide methodes weergegeven in figuur 4-3 en het verschil tussen beide methodes in figuur 4-4.

Uit de figuren blijkt dat met uitzondering van de profielen 16, 298, 358 en 411 de absolute verschillen tussen de SOBEK- en GIS-methode klein zijn. Deze overeenkomst is conform de verwachting, omdat de SOBEK-profielen op dezelfde GIS-gegevens gebaseerd zijn. De gevonden grotere verschillen kunnen als volgt worden verklaard:

1. in de gebruikte versie van het VVM-BOS (versie 1.00) zijn SOBEK-profielen gebruikt die niet geheel in overeenstemming waren met de GIS-bestanden. In een later stadium is dit door RIZA gecorrigeerd, door nieuwe SOBEK-profielen te genereren. De oppervlaktecontrole is echter niet met de nieuwe profielen herhaald. Wel is gekeken of de profielen waarvoor de grootste verschillen tussen SOBEK- en GIS-methode werden gevonden, inderdaad zijn gewijzigd. De volgende profielen zijn door RIZA overgedraaid:

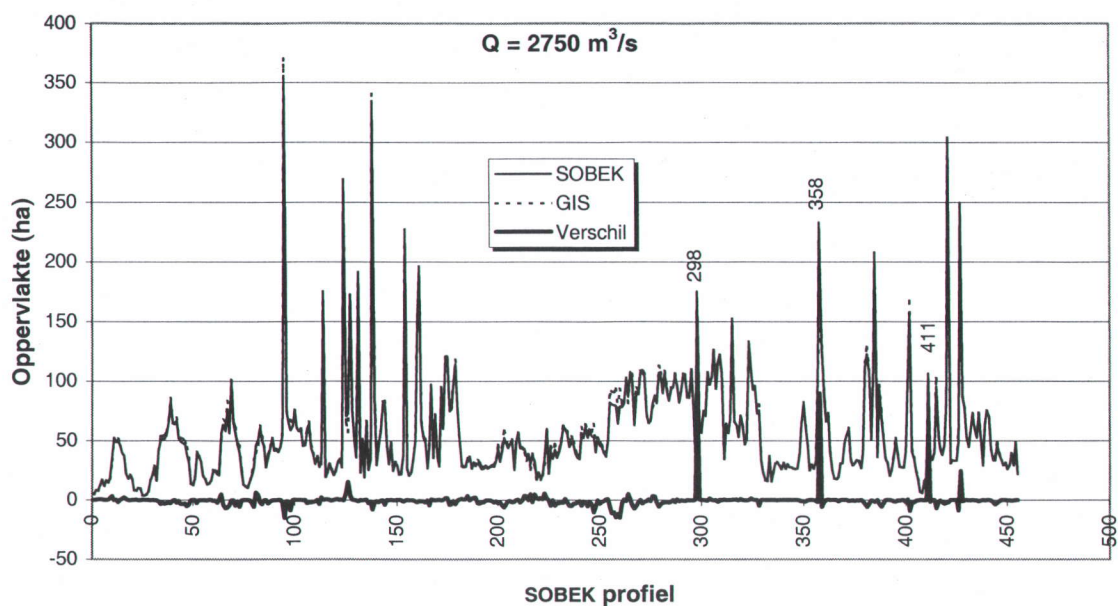
8,10-20,42-45,47,48,118,125-130,138,152,153,168-178,186,
196-199,207,214-219,244,262,264,283-288,298,299,303,318,
319,351,352,360,361,371,372,380,382,387,390,401-404,411,
419-421,426,427,431,434,438-441,443,444,450.

Op basis hiervan kon het grote verschil voor vak 298 worden verklaard.

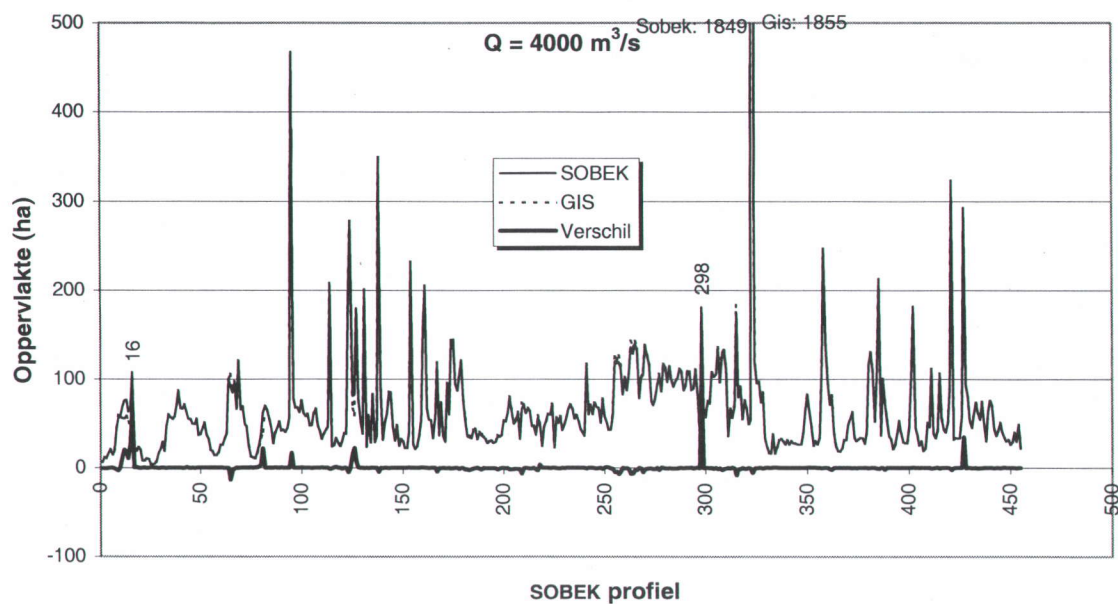
2. Daarnaast bleken er fouten te zitten in de GIS-bestanden op basis waarvan de SOBEK-profielen zijn gegenereerd en de overstromingsoppervlakten zijn bepaald. Deze fouten hebben geen consequenties voor de uiteindelijke profielen, maar in bepaalde gevallen wel voor de overstromingsoppervlakten (Pakes, 1998). Voor enkele situaties is geverifieerd dat dit de oorzaak is van de gevonden verschillen. Aangenomen wordt dat ook de overige afwijkingen tussen het VVM-BOS en de GIS-applicatie hiermee kunnen worden verklaard.

Aangezien voor SOBEK-model 1999.11 de relatie tussen de GIS-bestanden is verbeterd, mag worden verwacht dat de verschillen tussen de SOBEK- en GIS-methode voor model 1999.11 nog kleiner zullen zijn.

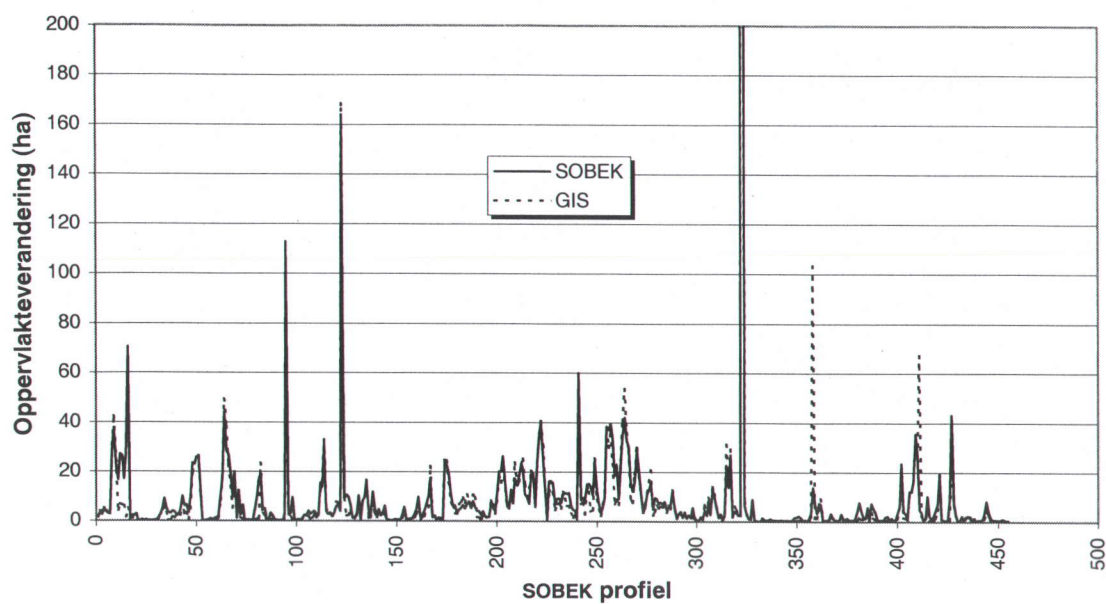
⁴ De GIS-bewerking is eind 1998 uitgevoerd door Ubo Pakes van Rijkswaterstaat/RIZA te Arnhem



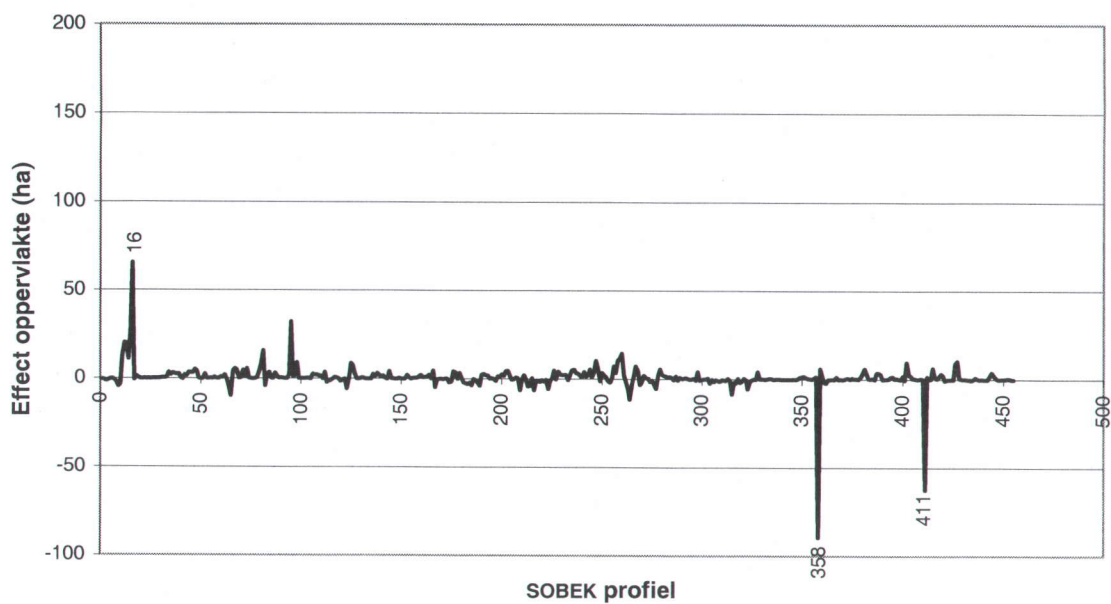
figuur 4-1 Inundatieoppervlak bepaald met behulp van SOBEK en GIS bij een afvoer van $2750 \text{ m}^3/\text{s}$.



figuur 4-2 Inundatie oppervlak bepaald met SOBEK en GIS bij een afvoer van $4000 \text{ m}^3/\text{s}$.



figuur 4-3 Verandering inundatieoppervlak (ha) bij een afvoertoe name van 2750 tot 4000 m^3/s volgens de SOBEK-methode en GIS.



figuur 4-4 Verschil tussen de SOBEK-methode en GIS in de berekening van de verandering in het inundatieoppervlak (ha) bij een afvoertoe name van 2750 tot 4000 m^3/s .

5 Detaillering vvm

De doelstelling van vvm is als volgt gedefinieerd (Barneveld en Klopstra, 1998):

Het uitvoeren van een verkenning naar rivierverruimende maatregelen waarmee een toekomstige toename van de maatgevende afvoer als gevolg van klimaatveranderingen veilig opgevangen kan worden in het beheersgebied van Rijkswaterstaat Directie Limburg. De mate waarin de maatgevende afvoer in de toekomst kan toenemen moet daarbij goed onderbouwd worden. Gezien het verkennende karakter van vvm, worden niet op voorhand beperkingen opgelegd aan de rivierverruimende maatregelen. Maatregelen mogen grootschalig van aard zijn. Het uitgangspunt voor vvm wordt gevormd door de Maas in de huidige (1999) situatie.

Om de doelstelling van vvm te verwezenlijken worden de volgende stappen doorlopen:

1. Vaststellen van de referentie (huidige situatie, huidig klimaat) waarmee de situatie na klimaatverandering en de varianten met rivierverruimende maatregelen vergeleken worden.
2. Probleemdefinitie: Vaststellen van de hydraulische effecten van (vastgestelde scenario's voor) de toename van de (maatgevende) afvoer ten opzichte van de referentie. Aanvullend geldt voor de onbedijkte Maas dat ten opzichte van de referentie het beveiligingsniveau verhoogd moet worden van een 1/50 jaar afvoergolf naar een 1/250 jaar afvoergolf.
3. Definieren - en vaststellen van de effecten - van enkelvoudige rivierverruimende maatregelen;
4. Vergelijking tussen hydraulische effecten volgens vvm-BOS en WAQUA;
5. Definieren - en vaststellen van de effecten - van een aantal varianten met combinaties van rivierverruimende maatregelen;
6. Gevoeligheidsanalyse voor een beperkt aantal varianten met andere scenario's voor de toename van de maatgevende afvoer en de golfvormen.

Een centrale plaats in vvm wordt gevormd door de effectbepaling van hydrologische scenario's en varianten ten opzichte van de referentie. De referentie, de probleemdefinitie en de effecten van de enkelvoudige maatregelen en varianten worden bepaald door de afvoeren en waterstanden behorende bij afvoergolven met herhalingstijden van 50, 250 en 1250 jaar. Daarnaast wordt de omvang van het winterbed bepaald in termen van oppervlakte. Voor de effectbepaling wordt gebruik gemaakt van het vvm-BOS. Een voorbeeld van een door het vvm-BOS gegenereerde effectentabel is opgenomen in tabel 5-1. Naast deze vorm van rapportage zullen effecten ook inzichtelijke worden gemaakt middels grafieken.

Afvoergolf Rapport**VVM-BOS**

1/1250 jaar 90 niets doen, 1250 golf Schematisatie: huidige situatie

1/250 jaar 91 Niets doen, 250 golf Schematisatie: huidige situatie

1/50 jaar 92 niets doen, 50golf Schematisatie: huidige situatie

Waterstanden bedijkte Maas (RKM 150 – 226,5)

		Referentie	Verandering
gemiddelde verandering waterstand 1/1250 jaar afvoergolf	(m)	-	0.000
maximale toename waterstand 1/1250 jaar afvoergolf	(m)	-	0.000
maximale afname waterstand 1/1250 jaar afvoergolf	(m)	-	0.000
rivierlengte met verhoging waterstand 1/1250 jaar afvoergolf(km)		-	0.000

Waterstanden onbedijkte Maas (RKM 2,56 – 150)

gemiddelde verandering waterstand 1/250 jaar afvoergolf	(m)	-	0.000
maximale toename waterstand 1/250 jaar afvoergolf	(m)	-	0.000
maximale afname waterstand 1/250 jaar afvoergolf	(m)	-	0.000
rivierlengte met verhoging waterstand 1/250 jaar afvoergolf (km)		-	0.000

Inundatieoppervlak

inundatieoppervlak bij 1/1250 jaar afvoergolf	(ha)	30567	0.000
inundatieoppervlak bij 1/250 jaar afvoergolf	(ha)	29231	0.000

Benedenstroomse Effecten: Ammerzoden-RKM 226,5

maximale afvoer 1/50 jaar afvoergolf	(m³/s)	2628	0
maximale afvoer 1/250 jaar afvoergolf	(m³/s)	3123	0
maximale afvoer 1/1250 jaar afvoergolf	(m³/s)	3908	0
maximale waterstand 1/50 jaar golf	(m)	4.31	0.00
maximale waterstand 1/250 jaar golf	(m)	4.95	0.00
maximale waterstand 1/1250 jaar golf	(m)	5.69	0.00
looptijd 1/50 jaar afvoergolf vanaf eerste uitvoerlocatie	(hr)	108	0
looptijd 1/250 jaar afvoergolf vanaf eerste uitvoerlocatie	(hr)	101	0
looptijd 1/1250 jaar afvoergolf vanaf eerste uitvoerlocatie	(hr)	88	0

Rapport aangemaakt 1998-11-09 16:53

Pagina 1 van 1

tabel 5-1: Voorbeeld van een door het VVM-BOS gegenereerde en in VVM gebruikte effectentabel.

5.1 Referentie

De referentie wordt bepaald voor de Maas in de huidige situatie met het huidige klimaat. De referentie wordt vastgelegd in termen van de waterstanden en afvoeren bij de 1/50 jaar afvoergolf (onbedijkte Maas), 1/1250 jaar afvoergolf (bedijkte Maas) en aanvullend de 1/250 jaar afvoergolf ten behoeve van benedenstroomse effecten. Daarnaast geldt een referentie voor de omvang van het winterbed welke gedefinieerd is als het inundatieoppervlak bij de 1/1250 jaar afvoergolf. De referentie wordt berekend met het VVM-BOS met het SOBEK-model van de Maas in de huidige situatie (model 1999.11). Daarbij worden de randvoorwaarden gebruikt die volgen uit de werklijn en de afvoergolven volgens de Randvoorwaarden 2001 (concept) en de voorbereidende studie voor VVM, waarin de afvoergolven met herhalingstijden van 50, 250 en 1250 jaar zijn vastgesteld. Het gaat daarbij om 3 scenario's voor de golfvormen: verwacht, stomp en spits. De stompe en spitse golven volgen uit het 95% betrouwbaarheidsinterval rondom de verwachte golfvormen.

Kort samengevat geldt voor de referentie het volgende:

- Huidige (1999) situatie (SOBEK-model 1999.11) met afvoergolven op basis van Randvoorwaarden 2001 (concept);
- 3 golven ($T = 50, 250$ en 1250 jaar);
- 3 golfvormen (stomp, middel, spits);
- 1 (vaste) benedenwaterstand.

Dit geeft 9 referentieberekeningen. De uiteindelijke referentie waarmee alle varianten inclusief de probleemdefinitie worden vergeleken, wordt bepaald door de gemiddelde golfvorm. Het doel van de berekeningen met de stompe en spitse afvoergolf is de onzekerheid rondom de verwachtingswaarde te illustreren.

Effecten van klimaatscenario's en maatregelen zullen zoals gezegd vergeleken worden met de referentie. Als langs de Maas in de huidige situatie sprake is van overhoogtes in kade- of dijkhoogtes, waardoor de beveiligingsniveaus hoger zullen zijn dan minimaal vereist, dan kan (een deel van) deze overhoogte benut worden ten behoeve van de toename van de afvoer als gevolg van klimaatswijzigingen. In VVM zal worden volstaan met een eenmalige vaststelling van de eventuele overhoogte. Voor de verkenningen zal de eventuele overhoogte vooralsnog niet worden benut.

5.2 Probleemdefinitie

De probleemdefinitie wordt bepaald door de Maas in de huidige situatie na klimaatverandering met als zichtjaar 2050. Daarnaast geldt voor de onbedijkte Maas aanvullend dat het beveiligingsniveau verhoogd dient te worden van een 1/50 jaar afvoergolf naar een 1/250 jaar afvoergolf. Voor de onbedijkte Maas wordt dus gerekend met het klimaatscenario voor de 1/250 jaar golf, die vergeleken wordt met de met behulp van de 1/50 jaar golf berekende referentie. Voor de bedijkte Maas wordt gerekend met het klimaatscenario voor de 1/1250 jaar afvoergolf. Om de benedenstroomse effecten voor verschillende golven te kunnen bepalen wordt aanvullend gerekend met het klimaatscenario voor de 1/50 jaar afvoergolf.

Voor de gevolgen van de klimaatsverandering op de afvoeren worden verschillende scenario's gehanteerd: 5, 10 en 20% afvoertoename. De verwachte afvoertoename bedraagt 10%, een afvoertoename van 5% kan beschouwd worden als een 'best case' en de afvoertoename van 20% als 'worst case', welke tevens een doorkijk biedt naar het zichtjaar 2100. Ook voor de afvoergolven worden 3 scenario's gehanteerd, de verwachte golfvorm en een spitse en stompe variant welke volgen uit de 95% betrouwbaarheidsbanden rondom de verwachte golf. Daarnaast worden voor de benedenstroomse waterstand een verwachtingswaarde, een 'best case' (alleen autonome toename) en een 'worst case' (maximale toename door autonome zeespiegelstijging plus klimaatsverandering) onderscheiden. Samengevat:

- 3 klimaatscenario's (5, 10 en 20% afvoertoename);
- 3 golven (T = 50, 250 en 1250 jaar);
- 3 golfvormen (stomp, middel, spits);
- 3 (vaste) benedenwaterstanden (verwachtingswaarde, autonome en maximale toename).

Wanneer alle combinaties worden toegepast resulteert dit in 81 berekeningen. Voor de probleemstelling wordt het verwachte scenario en een worst en best case met daarop een beperkte gevoeligheidsanalyse echter voldoende geacht. Dit resulteert in de volgende berekeningen, ieder met 3 golven met herhalingstijden van 50, 250 en 1250 jaar:

- verwachte scenario:
 - verwachte afvoertoename van 10%
 - verwachte golfvorm
 - verwachtingswaarde benedenrand
- worst case:
 - afvoertoename 20%
 - stompe golfvorm
 - maximale toename benedenrand
- best case:
 - afvoertoename 5%
 - spitse golfvorm
 - autonome toename benedenrand
- gevoeligheid afvoertoename:
 - worst en best case afvoertoename (5 en 20%)
 - verwachte golfvorm
 - verwachtingswaarde benedenrand
- gevoeligheid golfvorm:
 - verwachte afvoertoename 10%
 - stompe en spitse golfvorm
 - verwachtingswaarde benedenrand
- gevoeligheid benedenrand:
 - verwachte afvoertoename 10%
 - verwachte golfvorm
 - autonome en maximale toename benedenrand

Het doel van de gevoeligheidsberekeningen is om de invloed van de hoogte van de toename van de maximale afvoer, de golfvorm en de benedenrand afzonderlijk vast te kunnen stellen. Dit zijn in totaal dus 27 berekeningen.

5.3 Toetsing aan WAQUA

Het 1-dimensionale SOBEK-model vormt onderdeel van het VVM-BOS dat voor de effectbepaling wordt gebruikt. Voorgestelde maatregelen worden door het VVM-BOS op sterk vereenvoudigde wijze vertaald in een gewijzigde SOBEK-schematisatie. Om gevoel te krijgen voor de nauwkeurigheid van de rekenresultaten met het VVM-BOS, zal voor een viertal enkelvoudige maatregelen een vergelijking worden gemaakt tussen de hydraulische effecten berekend met het VVM-BOS enerzijds en het meer gedetailleerde 2-dimensionale WAQUA anderzijds.

De door te rekenen maatregelen zullen in overleg met de opdrachtgever worden vastgesteld en zullen in ruimtelijke zin beperkt van omvang zijn. De stationaire WAQUA-berekeningen zullen door Rijkswaterstaat Directie Limburg worden uitgevoerd. Voorgesteld wordt om iedere maatregel door te rekenen met 2 afvoerniveaus, bijvoorbeeld de 1/250 en 1/1250 jaar afvoer.

Uitgegaan wordt van 8 berekeningen met het VVM-BOS.

5.4 Enkelvoudige maatregelen

De enkelvoudige maatregelen zijn, zoals reeds beschreven, grootschalig zonder dat op voorhand beperkingen worden opgelegd vanuit bijvoorbeeld oogpunt van bestuurlijke, economische of technische haalbaarheid. Het doel van de effectbepaling van de enkelvoudige maatregelen is inzichtelijk te maken wat het te verwachten effect van dergelijke maatregelen is en daarmee ingrediënten aan te leveren voor de door te rekenen varianten en in wellicht latere studies inrichtingsvarianten. De effecten van de enkelvoudige maatregelen worden berekend met de verwachte hydrologische randvoorwaarden (10% afvoertoeename, verwachte golfvorm en benedenstroomse waterstand). Dit weer voor de 3 afvoergolven met herhalingstijden van 1250, 250 en 50 jaar. Voor de onbedijkte Maas worden effecten vastgesteld voor de 1/250 jaar afvoergolf, voor de bedijkte maas met de 1/1250 jaar afvoergolf en voor de benedenstroomse effecten wordt aanvullend met de 1/50 jaar afvoergolf gerekend. De volgende berekeningen worden voorgesteld:

1. Uiterwaardverlaging: 0,5 / 1 / 1,5 m;
2. Uiterwaardverlaging met verhoging van hydraulische ruwheid (buiten VVM-BOS om);
3. Gedifferentieerde uiterwaardverlaging tot bijvoorbeeld 0,5 m boven mediane waterstand (nog geschikt voor landbouw) en 0,5 m onder mediane waterstand (alleen geschikt voor natuur);
4. Winterbedverbreding: 500 m geheel stroomvoerend / 500 m geheel bergend;
5. Retentie: In het SOBEK-model 1999.11 zijn de bekade gebieden buiten de schematisatie gelaten. De kades zijn derhalve oneindig hoog verondersteld. Om

- het effect van deze aanname inzichtelijk te maken worden de bekade gebieden als retentiegebieden toegevoegd;
6. Weerdverlaging (onder dwarsverhang afgraven): met (Natuurvriendelijke oever) en zonder vegetatieontwikkeling met een breedte van 75m en een insteekniveau van 2m onder het hoogste punt van de hoofdgeul (h₅);
 7. Zomerbedverbreding: 25 / 50 m;
 8. Hoogwatergeulen: smal en breed: bijvoorbeeld 50 / 200 m
Deze maatregel zal in het VVM-BOS worden geschematiseerd middels een uiterwaardverlaging. Daartoe moet voor de trajecten met hoogwatergeulen de uiterwaardverlaging berekend worden per SOBEK-vak (omdat de oppervlaktes van de uiterwaarden per SOBEK-vak verschillen);
 9. Zomerbedverdieping: voorstel 1 / 2 m;
 10. Binnendijkse retentie: naast retentie in de bekade gebieden zullen 3 of 4 binnendijkse gebieden worden gesimuleerd met ieder 1 oppervlakte en optimale instroomniveaus behorende bij de 1/1250 jaar afvoergolf. De grootte en locaties van de retentiegebieden wordt in overleg met de opdrachtgever vastgesteld. Daarnaast moet vooraf een keuze worden gemaakt over de breedte van het kunstwerk dat de watertoevoer naar het retentiegebied regelt en de bodemhoogte van het retentiegebied. Om de juiste instroomhoogte van het retentiegebied te bepalen moet per retentiegebied een berekening uitgevoerd worden omdat deze seriegeschakeld zijn (bovenstroomse retentiegebieden hebben invloed op het optimale instroomniveau van benedenstroomse retentiegebieden).
 11. Retentie in zijbeken
Het maximale effect van deze maatregel wordt vastgesteld door alle laterale debieten op nul te stellen.

Voor de maatregelen zomerbedverbreding en weerdverlaging is het van belang te weten dat in het SOBEK-model van de Maas over grote lengtes sprake is van zomerkades die in veel gevallen niet echte zomerkades betreffen maar bijvoorbeeld oeverwallen, of om schematisatietechnische redenen zijn opgenomen. In het geval van zomerbedverbreding en weerdverlaging wordt door het VVM-BOS gesteld dat deze nooit kunnen doorlopen tot achter de zomerkade. Als dat toch gewenst is, moet de gebruiker eerst de zomerkade verwijderen. Voor deze twee maatregelen zal daarom een aanvullende berekening worden gemaakt waarin ook de zomerkades verwijderd worden.

Dit geeft het volgende totaal aantal berekeningen:

Enkelvoudige Maatregel	Aantal berekeningen
1	9
2	3
3	7
4	6
5	3
6	6 + 6*
7	6 + 6*
8	6
9	6
10	6
11	3
Totaal	61 + 12*

tabel 5-2: Berekeningen met enkelvoudige maatregelen.

*: met zomerkadeverwijdering.

5.5 Varianten

Als vervolg op de enkelvoudige maatregel zullen varianten worden gedefinieerd die uit meerdere maatregelen kunnen bestaan. Er is dus weer sprake van de Maas in de huidige situatie met de verwachte klimaatsverandering in het zichtjaar 2050. De effecten van de varianten worden berekend met de verwachte hydrologische randvoorwaarden in dit zichtjaar (10% afvoertoe name, verwachte golfvorm en benedenstroomse waterstand). Dit weer voor de 3 afvoergolven met herhalingstijden van 1250, 250 en 50 jaar (1/1250 jaar afvoergolf voor bedijkte Maas, 1/250 jaar afvoergolf voor onbedijkte Maas en t.b.v. benedenstroomse effecten de 1/50 jaar afvoergolf).

Anders dan in het geval van de enkelvoudige maatregelen zullen de maatregelen (iteratief) zodanig worden aangepast dat de toegenomen afvoeren als gevolg van klimaatswijzigingen veilig worden opgevangen in het beheersgebied van Directie Limburg, zonder negatieve effecten benedenstrooms. Het criterium veilig betekent in dit verband dat binnen het beheersgebied van Directie Limburg de maatgevende waterstanden niet hoger mogen zijn dan in de referentie. Voor het criterium veiligheid op de overgang naar het beheersgebied van Rijkswaterstaat Directie Zuid Holland wordt aangehouden dat de afvoeren en waterstanden als gevolg van maatregelen getroffen in het beheersgebied van Rijkswaterstaat Directie Limburg niet hoger mogen worden dan die van de probleemdefinitie. De looptijden van de golven tot de overgang naar het benedenstroomse gebied worden voorlopig alleen geconstateerd, hierop wordt dus niet geïtereerd.

De varianten kunnen vanuit een bepaald thema of oogpunt in overleg met de opdrachtgever worden samengesteld. De procedure is dan als volgt: (i) vaststellen basispakket, (ii) als doelstelling niet wordt gehaald maatregelen toevoegen volgens

vast te stellen prioriteit (bijvoorbeeld eerst weerdverlaging, of eerste meest effectieve maatregel).

Uitgegaan wordt van 3 varianten. Het aantal berekeningen per variant zal sterk afhangen van het aantal benodigde iteraties. Omdat de waterstanden op een locatie, afgezien van de afvoer, worden bepaald door de benedenstroomse waterstanden, zal in het iteratieproces in eerste instantie vanaf de benedenrand van het beheersgebied van Rijkswaterstaat Directie Limburg in stroomopwaartse richting maatregelen aangepast worden, om tot een waterstandsneutrale variant te komen. Dit eerst voor de bedijkte Maas met de 1/1250 jaar afvoergolf en vervolgens (met de reeds afgeleide maatregelen voor de bedijkte Maas) voor de onbedijkte Maas met de 1/250 jaar afvoergolf. Vervolgens moet een berekening met de dan ontstane variant worden gemaakt om te constateren of de verandering in de golfdemping op de onbedijkte Maas alsnog leidt tot onveilige situaties op de bedijkte Maas (bij de 1/1250 jaar afvoergolf). Als dit het geval is moeten de maatregelen (wellicht in geringe mate) aangepast worden. Tenslotte worden de benedenstroomse effecten beoordeeld en op basis daarvan indien nodig (en mogelijk) aanvullende maatregelen getroffen.

5.6 Gevoeligheidsanalyse varianten

Als logisch vervolg op de uitgeïtereerde varianten zal de gevoeligheid voor het best en worst case hydrologische scenario (zoals gedefinieerd bij de probleemdefinitie in paragraaf 5.2) vastgesteld worden. Hiervoor worden twee opties onderscheiden:

1. Voor alle varianten wordt het best en worst case scenario voor de hydrologische randvoorwaarden doorgerekend en de effecten bepaald. Deze effecten (verhoging/verlaging van de maatgevende waterstanden etc.) kunnen als een maat voor de veerkracht beschouwd worden waarop de varianten onderling vergeleken kunnen worden. Om te voorkomen dat de mate van nauwkeurigheid waarmee de varianten uitgeïtereerd zijn ten opzichte van de referentie invloed heeft op deze vergelijking, worden de effecten niet bepaald ten opzichte van de referentie maar ten opzichte van de uitgeïtereerde varianten zelf. In totaal resulteert dit in 18 berekeningen. Er wordt in deze optie dus niet opnieuw geïtereerd naar waterstandsneutrale varianten.
2. De varianten kunnen ook zodanig iteratief worden aangepast dat voldaan wordt aan de referentie. De getroffen maatregelen in de varianten blijven hetzelfde, de mate waarin de maatregelen worden doorgevoerd wordt slechts gevarieerd totdat weer een neutrale variant ontstaat. Het doel van deze gevoeligheidsanalyse is te illustreren in welke mate aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn of maatregelen geschrapt kunnen worden. Omdat hier weer sprake is van een iteratieproces, kan het aantal berekeningen niet vooraf bepaald worden. Om de benodigde inspanning te beperken wordt, indien gekozen wordt voor deze optie, voorgesteld dit te beperken tot 1 in overleg met de opdrachtgever vast te stellen variant. De geschatte benodigde inspanning voor deze optie is daardoor ongeveer gelijk aan optie 1. De keuze zal dus geen invloed hebben op de doorlooptijd en de kosten.

Na overleg met de opdrachtgever wordt optie 2 voorgesteld.

Naast de gevoeligheid van de varianten voor het worst case scenario voor de hydrologische randvoorwaarden wordt voorgesteld de gevoeligheidsanalyse voor de hoogte van de afvoer, vorm van de golf en de benedenrand afzonderlijk (conform de gevolgde methodiek bij de probleembeschrijving in paragraaf 5.2) nog eenmaal vast te stellen. Hieruit moet blijken of de gevoeligheid van de varianten hiervoor veranderd is ten opzichte van de probleemdefinitie als gevolg van de getroffen grootschalige maatregelen. Het gaat dus om een eenmalige vaststelling van effecten waarbij geen sprake is van een iteratieproces. Het betreft 18 berekeningen.

Tot slot zal nog een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd naar de invloed van de bekade gebieden, waarvan in het SOBEK-model aangenomen is dat deze nooit inunderen. Deze invloed kan worden vastgesteld door alle bekade gebieden als retentie toe te voegen aan een variant met het instroomniveau van de retentiegebieden gelijk aan de karakteristieke kadehoogtes. Omdat de bekade gebieden alleen inunderen bij de 1/1250 jaar afvoergolf wordt deze gevoeligheid door middel van 1 berekening met deze (gemiddelde) afvoergolf vastgesteld.

5.7 Overzicht berekeningen

Samenvattend worden in onderstaande tabel de in VVM uit te voeren berekeningen samengevat.

Berekening	aantal berekeningen zonder iteratie	aantal varianten met iteratie
Referentie	9	
Probleemdefinitie	27	
Enkelvoudige maatregelen	73	
Toetsing VVM-BOS aan WAQUA	8	
Varianten		3
Gevoeligheidsanalyse varianten	19	1
Totaal	136	4

tabel 5-3: Samenvatting berekeningen in VVM.

5.8 Presentatie resultaten

Voor de presentatie van de resultaten van de VVM-berekeningen wordt het volgende voorgesteld:

- 1) Tabellen die uit VVM-BOS komen (zie tabel 5-1)
- 2) Figuren/tabellen voor de referentie (1/50, 1/250 en 1/1250 jaar afvoergolven en 3 golfvormen):
 - a) Hmax-lijn = maximale waterstanden langs gehele rivier voor de gemiddelde golf, alsmede verschillen met stompe en spitse golven;
 - b) Waterstandsverloop H(t) op 6 locaties verspreid langs rivier. De volgende locaties worden voorgesteld:

No	Naam	KMR	Opmerking
1	Borgharen	17 ⁵	Bovenstroomse locatie
2	Maaseik	52,72	Grensmaas (effecten Grensmaas)
3	Venlo	107,47	Zandmaas (effecten Plassenmaas)
4	Sambeek beneden	147,7	Zandmaas
5	Megen	190,75	Bedijkte Maas
6	Ammerzoden	226,5	Grens beheersgebied

tabel 5-4 Uitvoerlocaties vvm-berekeningen

- c) Q_{max}-lijn = maximale afvoeren langs gehele rivier voor de gemiddelde golf, alsmede verschillen met stompe en spitse golven;
 - d) Verloop afvoerdeling over zomerbed en winterbed voor gehele Maas. Aangezien in het VVM-BOS de afvoer door het zomerbed alleen als uitvoerparameter uit permanentieberekeningen komt, wordt de afvoerdeling voor permanentieberekeningen gepresenteerd.
 - e) Afvoerloop Q(t) op 6 locaties verspreid langs rivier (zie tabel 5-4).
 - f) B_{max}-lijn = maximale natte breedtes langs gehele rivier voor de gemiddelde golf, alsmede verschillen met stompe en spitse golven. Aanvullend wordt de grootte van het gehele geïnundeerde oppervlak gegeven in een tabel;
 - g) Tabel met looptijden van de golven van Eijsden-grens tot Ammerzoden.
- 3) Figuren/tabellen probleemdefinitie:
- a) Toename (ten opzichte van de referentie) van de maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes bij 10% afvoertoe name, uitgaande van de gemiddelde golfvorm en de verwachte zeespiegelstijging;
 - b) Gevoeligheid maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes voor variatie in afvoertoe name, uitgaande van de verwachte golfvorm en de verwachte zeespiegelstijging;
 - c) Gevoeligheid maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes voor variatie in de golfvorm, uitgaande van 10% afvoertoe name en de verwachte zeespiegelstijging;
 - d) Gevoeligheid maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes voor variatie in zeespiegelstijging, uitgaande van 10% afvoertoe name en de gemiddelde golfvorm;
 - e) Veranderingen ten opzichte van het verwachte scenario (10% toename, verwachte golf, verwachte zeespiegelstijging) van maximale waterstanden, afvoeren en natte breedtes bij worst case scenario (20% toename, stompe golf, maximale zeespiegelstijging) en best case scenario (5% toename, spitse golf, autonome zeespiegelstijging);
 - f) Verandering van de afvoerdeling (ten opzichte van de referentie) ten gevolge van het verwachte scenario;
 - g) Tabellen met veranderingen golfvoortplanting en geïnundeerd oppervlak bij diverse scenario's.
- 4) Figuren/tabellen enkelvoudige maatregelen:

⁵ Het MSW-punt Borgharen-Dorp ligt bij KMR 16. Aangezien het water via de overlaat Bosscherveld pas bij KMR 17 weer in de Maas komt, is er voor gekozen om waterstanden en afvoeren op die locatie te presenteren. Daardoor wordt de totale Maasafvoer gegeven.

- a) Veranderingen ten opzichte van de probleemdefinitie (verwachtingswaarde klimaatverandering, golfvorm en benedenrandvoorwaarde) van maximale waterstanden, maximale afvoeren, maximale breedtes;
 - b) Verandering van de afvoerverdeling over zomer- en winterbed door de enkelvoudige maatregelen;
 - c) Tabellen met verandering van golfvoortplanting en geïnundeerd oppervlak door de enkelvoudige maatregelen.
- 5) Figuren/tabellen varianten:
- a) Veranderingen ten opzichte van de referentie (verwachtingswaarde klimaatverandering, golfvorm en benedenrandvoorwaarde) van maximale waterstanden, maximale afvoeren, maximale breedtes;
 - b) Verandering van de afvoerverdeling over zomer- en winterbed ten opzichte van de referentie;
 - c) Tabellen met verandering van golfvoortplanting en geïnundeerd oppervlak door de varianten;
 - d) Gevoeligheid maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes behorende bij een uitgeïtereerde variant, voor variatie in afvoertoeename, uitgaande van de verwachte golfvorm en de verwachte zeespiegelstijging;
 - e) Gevoeligheid maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes behorende bij een uitgeïtereerde variant, voor variatie in de golfvorm, uitgaande van 10% afvoertoeename en de verwachte zeespiegelstijging;
 - f) Gevoeligheid maximale waterstanden, maximale afvoeren en maximale natte breedtes behorende bij een uitgeïtereerde variant, voor variatie in zeespiegelstijging, uitgaande van 10% afvoertoeename en de gemiddelde golfvorm;
 - g) Effect van inundatie bekade gebieden op maximale waterstanden, maximale afvoeren, maximale natte breedtes, totaal geïnundeerd oppervlak en looptijden van de golven.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

- 1) Veranderingen in getij en bodemligging in het zichtjaar worden voor de VVM-studie niet meegenomen.
- 2) Uit verificatie met een overstromingsmodule (GIS-applicatie van RIZA) blijkt dat het VVM-BOS een geschikt instrument is voor bepaling van (verandering van) het overstroomd oppervlak.
- 3) Het huidige VVM-BOS biedt voldoende functionaliteit voor het doorrekenen van speciale maatregelen.
 - a) Voor de maatregel nevengeul/hoogwatergeul wordt voorgesteld om in VVM de maatregel uiterwaardverlaging te gebruiken. Voor hoogwatergeulen buiten het winterbed om moet dit eventueel worden gecombineerd met uiterwaardverbreding. In het laatste geval moet de omvang van uiterwaardverlaging en uiterwaardverbreding bij voorkeur worden geverifieerd met berekeningen met een aangepast SOBEK-model (extra tak ter plaatse van de geul).
 - b) Berging in kanalen kan met de retentie-optie worden gesimuleerd.
 - c) Meestromen van kanalen kan worden gesimuleerd door laterale onttrekkingen te wijzigen.
 - d) Verwijderen van hydraulische knelpunten (verruimen bruggen) dient op het niveau van de SOBEK-schematisatie te worden doorgevoerd.

6.2 Aanbevelingen

- 1) Voorgesteld wordt om de randvoorwaarden voor de VVM-studie te baseren op de meest recente informatie betreffende werklijn en golfvorm, alsmede klimaatscenario's voorgesteld door het KNMI. De resulterende randvoorwaardencombinaties zijn samengevat in tabel 2-4.
- 2) Voorgesteld wordt om op basis van WAQUA-berekeningen een inventarisatie uit te voeren van de hydraulische knelpunten, alsmede het hydraulisch effect van knelpuntverwijdering te bepalen.
- 3) Voor uitvoering van de VVM-studie wordt een uitgebreide set van berekeningen voorgesteld. Een overzicht van de uit te voeren berekeningen is gegeven in tabel 5-3.

Literatuur

- Barneveld H.J. en A.J.T. Bastings, 1998: QH-relatie Borgharen–Dorp – Ontwikkeling vanaf 1993, Rijkswaterstaat Directie Limburg, Afdeling ANWR, mei 1998.
- Barneveld H.J. en D. Klopstra, 1998: Definitiestudie Verkenning Verruiming Maas, VVM-rapport nr. 1, juni 1998, PR162.10.
- Barneveld H.J., W. Immerzeel, R. Passau en R.C. Agtersloot, 1998: SOBEK-model Maas – Situatie na Maaswerken, VVM-rapport nr. 3, november 1998, PR162.40.
- Beesen, A.H.G.C. van, 1999: uitgangspunten voor toetsende berekeningen Zandmaas/Maasroute – brief aan De Maaswerken betreffende rekengrootheden voor werklijn en golfvorm die voor toetsende berekeningen kunnen worden gehanteerd, kenmerk HK/AK99/7713, dd 2-8-99.
- Haas, A.W. de, 1999: Maaswerken – brief aan Rijkswaterstaat Directie Limburg betreffende informatie voor De Maaswerken betreffende Q-h relaties benedenrand, werklijn en golfvorm, kenmerk WSH5737, dd 26-7-99.
- Helmyr S.C.C., 1998: Mogelijke maatregelen voor rivierverruiming en retentie in Noord-Brabant en Gelderland; Rijkswaterstaat Directie Limburg, ANWR, memo 29 september 1998.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995: Climate change; Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change; 1996.
- Klopstra D., K. Wouters, H.J. Barneveld, F. Hoefsloot, M. Ruppert, R. v/d Veen, U. Pakes, 1999: SOBEK-model Maas – Hoogwatervoorspellingsmodel (versie 1999.1), VVM-model (versie 1999.11), VVM-rapport nr. 4, november 1999, PR289.10.
- KNMI, 1999: De toestand van het klimaat in Nederland 1999.
- Können G.P. en W. Franse, 1996: De toestand van het klimaat in Nederland; KNMI, De Bilt.
- Kwadijk C.J., 1993: The impact of climate change on the discharge of the River Rhine; Nederlands Geografische Studies 171.
- Landbouwuniversiteit Wageningen en Carthago, 1997: Vulnerability water supply of the Netherlands through the river Meuse: Programming study with respect to Global Change and Climate Change; september 1997.
- Linden van der T., 2000: Reactie op hoofdstuk Hydraulische Randvoorwaarden VVM; Brief van Rijkswaterstaat RIZA (Dordrecht) aan HKV LIJN IN WATER, kenmerk WST 2000.030 dd 9-2-2000.
- Lorenz N. en J. Kwadijk, 1998: Bepaling van maatgevende afvoeren bij Borgharen (concept); WL|delft hydraulics, 1998.
- Middelkoop H. en B.W.A.H. Parmet, 1997: Assessment of the impact of climate change on peak flows in the Netherlands – a matter of scale; Proceedings of the 2nd International Conference on Climate and Water.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993: Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen, Deelrapport 2: Maatgevende belastingen; januari 1993.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-a: Onderzoek Watersnood Maas, Deelrapport 5: Hydraulische aspecten. Onderzoek uitgevoerd voor Commissie Boertien II.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1994-b; Onderzoek Watersnood Maas, Deelrapport 12, Selectie van maatregelen; 12 december 1994.

- Pakes U., 1998: Telefonisch overleg betreffende de verschillen tussen overstromingsoppervlakten uit VVM-BOS en een GIS-applicatie van het RIZA.
- Parmet B.W.A.H. en M. Burgdorffer, 1995: Extreme discharges of the Meuse in The Netherlands: 1993, 1995 and 2100 – Operational Forecasting and Long Term Expectations; Phys. Chem. Earth, Vol.20, No.5-6 .
- Passchier R., 1995: Herberekening werklijn Rijn en Maas 1995. Waterloopkundig Laboratorium.
- Rijkswaterstaat, 1997: Integraal waterbeheer; Wassend water, dalend land; waterbeheer bij veranderd klimaat, karakterwisseling van rivieren, zeespiegelstijging en bodemdaling.
- Rijkswaterstaat, RIZA; Onderzoek Watersnood Maas, Hoofdrapport, De Maas meester; 12 december 1994.
- RIKZ, RIZA en DWW, 1996; Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen; september 1996.
- RIZA, 1997-a: Samenvattend hoofdrapport, Definitiestudie Instrumentarium Waterhuishouding in het Natte Hart, Rijkswaterstaat bereidt zich voor op de toekomst; RIZA rapport 97.086; oktober 1997.
- RIZA, 1997-b: Projectvoorstel Verkenning Verruiming Maas; RIZA-memo MAAS*97-07(I), Wim Silva, 10 december 1997.
- RIZA, 1997-c: Analyse laterale toestroming naar de Maas. Rijkswaterstaat RIZA, werkdocument 97.061X, april 1997.
- RIZA, RIKZ en IMAU, 1998: De keerzijde van ons klimaat.
- Snippen E. en G. Blom, 1999: Hydraulische Verkenning IVB, resultaten 2000-2050 autonome variant; werkdocument 98.130X, Rijkswaterstaat, RIZA, april 1999.
- Storms J. en J.C.J. Kwadijk, 1997: Verandering van de kans op extreme afvoeren 1990-2100 voor het UKHI klimaat scenario; ICG-rapport 97/5.
- Veen van der R., U. Pakes, J. van Essen en L. Schutte, 1998; Calibratie SOBEK-Maas (Versie 1998.1), RIZA rapport 98.038; 1 september 1998.
- Vrisou van Eck N. en D. Klopstra, 1998: Vorm van de maatgevende afvoergolf van de Maas bij Borgharen (concept); HKV LIJN IN WATER, oktober 1998.
- Werkgroep klimaatverandering en bodemdaling, 1997: Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland; juli 1997.
- Werner M., 1999: Addendum Handleiding VVM-BOS 1.20, Effectbepaling Afvoergolf; WL|DELFT HYDRAULICS, december 1999, R3291.10 .
- Wijbenga J.H.A., 1997: Benedenstroomse effecten Zandmaas - Invloed van Maaswerken op MHW-standen benedenstrooms van Megen; Studie in opdracht van Projectbureau De Maaswerken, eindconcept PR107, 11 november 1997.
- Wildt de P.J.W. en G.P. Können, 1996: Hydrologie en klimaatverandering; Het Waterschap 1996, nummer 6.
- WL|delft hydraulics, 1998; Integrale Verkenning inrichting Rijntakken, Beslissings Ondersteunend Systeem, IVR-DSS Gebruikershandleiding en Systeemdokumentatie, Versie 3.15, IVR-rapport nr. 16; augustus 1998, in opdracht van Ministerie van Verkeer en Waterstaat.



HKV LIJN IN WATER
Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Telefoon: 0320 294242
Telefax: 0320 253901
e-mail: info@hkv.nl

Bezoekadres:
Botter 11 nr. 29
Lelystad