1521-58

Witteveen + Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

Waterschap Vallei & Eem,
Hoogheemraadschap Amstel,
Gooi en Vecht, Rijkswaterstaat
IJsselmeergebied

Grontmij

Bijlagenrapport MER Fase 1
Veiligheid Zuidelijke Randmeren

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Rijkswaterstaat

WATERSCHAP Vallei&Eem

Witteveen+Bos
Van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

Witteveen+Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

Waterschap Vallei & Eem, Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht, Rijkswaterstaat IJsselmeergebied

Bijlagenrapport MER Fase 1 Veiligheid Zuidelijke Randmeren

Grontmij
Velperweg 26
6824 BJ Arnhem
telefoon 026 355 83 55
telefax 026 445 92 81

referentie	projectcode	status
LEU36-1/dijc/055	LEU36-1	definitief
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
ir. F.J. Schuurman	drs. D.J.F. Bel	27 oktober 2006

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. F.J. Schuurman	

Witteveen+Bos
van Twickelostraat 2
postbus 233
7400 AE Deventer
telefoon 0570 69 79 11
telefax 0570 69 73 44

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd volgens ISO 9001 : 2000

© Witteveen+Bos
Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende Ingenieurs b.v., noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE

BIJLAGE I	Dijkringgebieden
BIJLAGE II	Voorspelkracht hydraulische berekeningen
BIJLAGE III	Hydraulische berekeningen ten behoeve van referentiesituatie
BIJLAGE IV	Hydraulische berekeningen, oplossend vermogen van de maatregelen
BIJLAGE V	Toetsresultaten per dijkvak op basis van concept HR-2006
BIJLAGE VI	Kenmerkende dwarsprofielen

BIJLAGE I Dijkringgebieden 44, 45, 46 (bron: Hydraulische Randvoorwaarden 2001, Ministerie van Verkeer en Waterstaat).

Dijkringgebied 44: Kromme Rijn

normfrequentie = 1/1250

Legenda

Randvoorwaardenlocaties

- Nederrijn
- Markermeer en Gooimeer

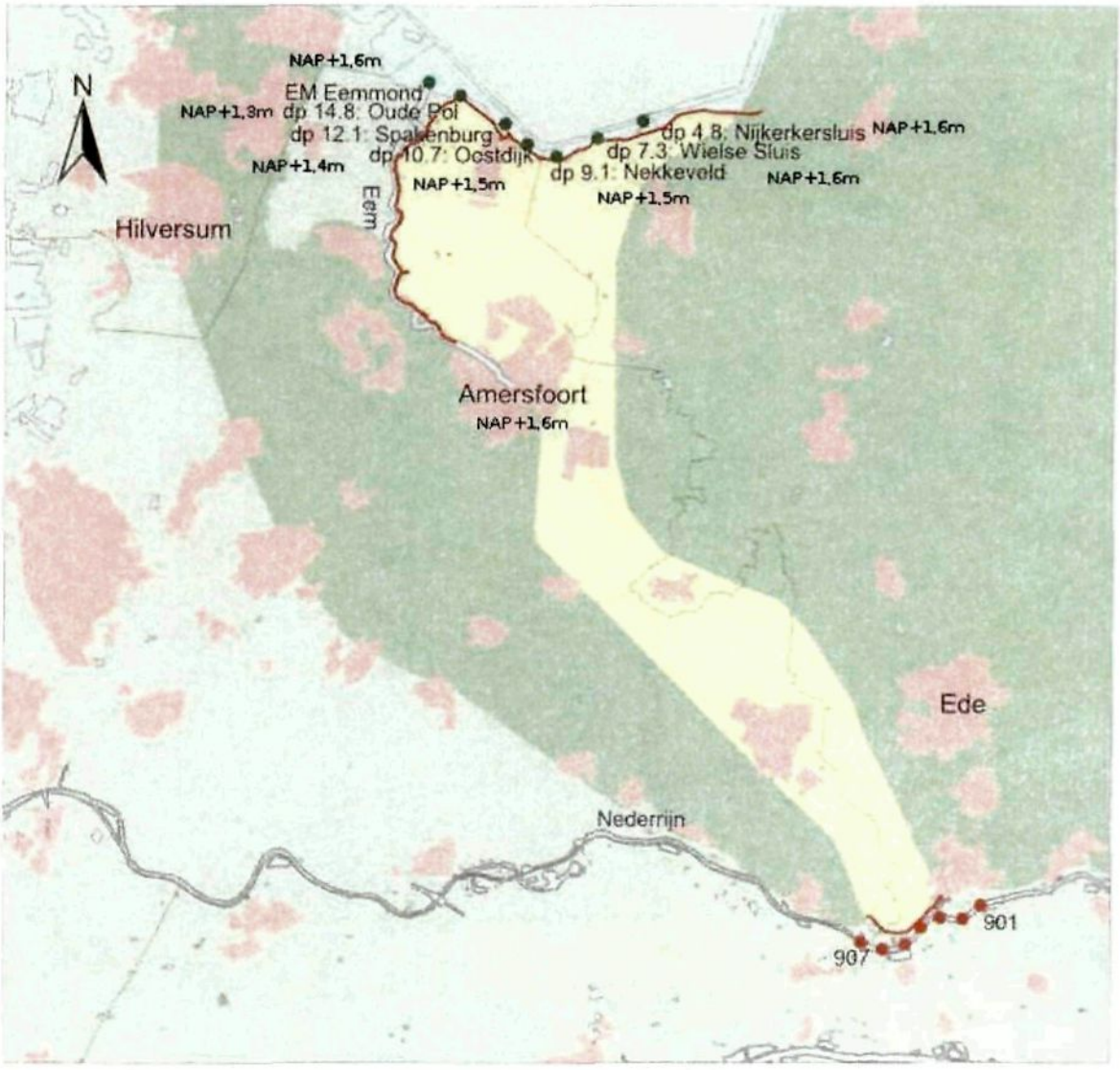
topografie

- dijkring
- hoge gronden
- land
- water
- buitenland
- woonkernen
- provinciegrenzen

0 5 10 kilometers

Dijkringgebied 45: Gelderse Vallei

normfrequentie = 1/1250



Legenda

Randvoorwaardenlocaties

- Nederrijn
- Eemmeer en Nijkerkernauw

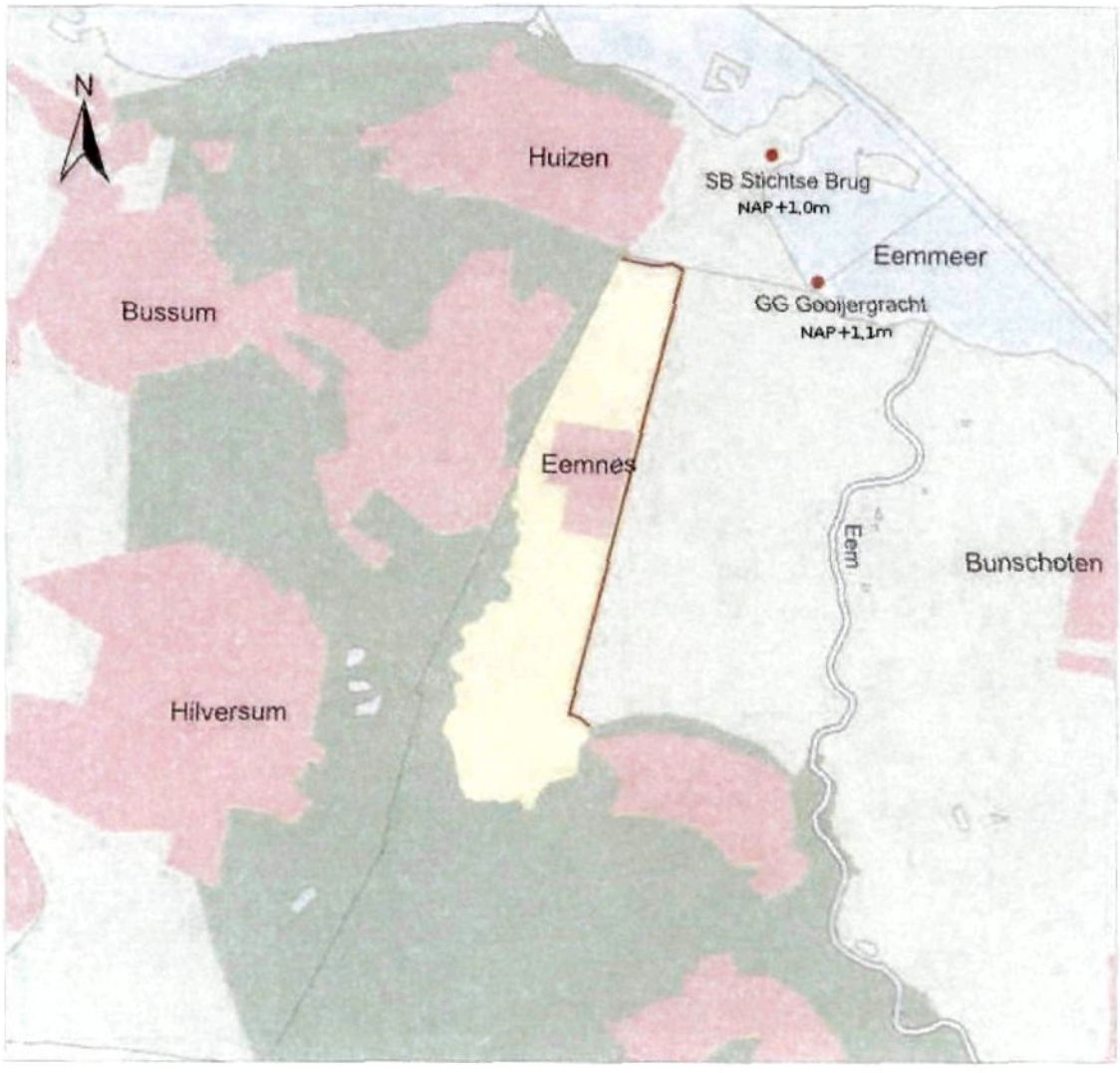
Topografie

- Dijkringgebied
- Hoge gronden
- Land
- Water
- Buitenland
- Woonkernen
- Provinciegrenzen

0 5 10 Kilometers

Dijkringgebied 46: Eempolder

normfrequentie = 1/1250



Legenda

Randvoorwaardenlocaties

- Eemmeer

Topografie

- Dijkringgebied
- Hoge gronden
- Land
- Water
- Buitenland
- Woonkernen
- Provinciegrenzen

0 1 2 Kilometers

BIJLAGE II Notitie Voorspelkracht hydraulische berekeningen

Witteveen+Bos

notitie

water
infrastructuur
milieu
bouw

Witteveen+Bos
Heemraadssingel 319
postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
telefoon 010 244 28 00
telefax 010 244 28 88

onderwerp	Voorspelkracht hydraulische berekeningen
project	MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren
opdrachtgever	Waterschap Vallei en Eem
projectcode	LEU36-1
referentie	LEU36-1/doea/056
opgemaakt door	ir. A. Smale
goedgekeurd door	ir. S.T. Pwa paraaf
status	definitief
datum opmaak	27 oktober 2006

Onderstaande tekst is een reactie op de gevraagde achtergronden uit de Richtlijnen voor de MER 'Veiligheid Zuidelijke Randmeren' (Richtlijnen 3.2 - waarde en betekenis hydraulische modelleringen).

maatgevende omstandigheden behorende bij 1:1250 jaar condities

De maatgevende omstandigheden bestaan uit een combinatie van meerpeil, windsnelheid en windrichting. Deze combinatie resulteert in een maatgevende waterstand en golfhoogte. Er zijn in principe oneindig veel combinaties van meerpeil en wind mogelijk. Er zijn dan ook meerdere combinaties van meerpeil en wind, die leiden tot een eens per 1250 jaar gebeurtenis (alle met verschillende waterstanden en golven). Met behulp van de reeds bekende statistiek van meerpeilen en gemeten windcondities kan van al deze combinaties, die leiden tot een eens per 1250 jaar conditie, de meest waarschijnlijke combinatie worden bepaald: het zogenaamde illustratiepunt.

Met ander woorden: als we een eens per 1250 jaar gebeurtenis zouden meemaken, dan is de kans het grootst dat deze het gevolg is van de condities behorende bij het illustratiepunt. Een gedetailleerde beschrijving van de stormcondities behorende bij het illustratiepunt is opgenomen in bijlage IV.

Voor een globale veiligheidstoets en/of effectbepaling kan in veel gevallen gebruik worden gemaakt van de condities behorende bij het illustratiepunt. De onnauwkeurigheid die door deze vereenvoudiging ontstaat wordt acceptabel geacht ten opzichte van de werkzaamheden, die noodzakelijk zijn voor een gedetailleerde analyse. In WL| Delft Hydraulics & Witteveen+Bos (2005) zijn voor alle beschouwde locaties in de Eemvallei de illustratiepunten gedefinieerd.

Voor een meer gedetailleerde analyse dient een groot aantal combinaties van meerpeil, windsnelheid en windrichting te worden doorgerekend. Het gaat hierbij om in totaal 216 combinaties. Een beschrijving van deze combinaties is gegeven in WL| Delft Hydraulics & Witteveen+Bos (2005).

schematisatie van waterberging buitendijkse gebieden
De berekeningen ten behoeve van de bepaling van de maatgevende hoogwaterstanden worden uitgevoerd met het tweedimensionale stromingsmodel WAQUA[1]. Dit stromingsmodel bepaalt de stroomsnelheden en waterstanden op basis van beschikbare bodemligging, bodemruwheid en relevante objecten.

Ter plaatse van de Eemvallei bevat het stromingsmodel tevens het gehele gebied buitendijks van de primaire waterkeringen. Dit houdt in dat zowel de bodemligging als de relevante objecten buitendijks van de primaire waterkeringen in het stromingsmodel zijn opgenomen. Afhankelijk van de bodemligging en secundaire keringen kunnen deze buitendijkse gebieden onder water lopen.

In 2005 is in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA het stromingsmodel voor het Markermeer geactualiseerd en uitgebreid met meer gedetailleerde gegevens ten aanzien van Gooi-, Eemmeer en Eemvallei, Alkyon&Meander (2005). Deze informatie betreft de bodemligging van het gehele buitendijkse gebied en de relevante objecten (zoals secundaire keringen) en is gebruikt ten behoeve van de bepaling van de concept Hydraulische Randvoorwaarden 2006.

De hoogte van de secundaire keringen in de concept Hydraulische Randvoorwaarden 2006 wijkt echter af van de daadwerkelijke en toekomstige hoogte van de secundaire keringen in de Eemvallei. Daarnaast bestaat onduidelijkheid over het al dan niet bezwijken van de keringen tijdens maatgevende omstandigheden. In bijlage III is derhalve ingegaan op de juiste schematisatie van de secundaire keringen.

Voor dijkring 45 (Gelderse Vallei) geldt dat de waterstanden voor de primaire waterkering het hoogst zijn als de keringen in de Eempolder niet bezwijken. Er vindt dan geen berging in de polders plaats, resulterend in de hoogst mogelijke waterstand voor de primaire kering. De primaire waterkeringen van dijkring 46 (Eempolder) worden op dit moment beschermd door de secundaire keringen. Het bezwijken van deze keringen leidt dan ook tot de maatgevende situatie voor deze dijkring. In bijlage III zijn de in de concept HR2006 gepresenteerde toetspeilen voor dijkring 45 gecorrigeerd voor de juiste hoogte van de keringen; de toetspeilen van dijkring 46 zijn gecorrigeerd voor het bezwijken van de secundaire keringen. Beide correcties leiden tot de maatgevende situatie voor de betreffende dijkring.

kwaliteit van de hydraulische modellen ten opzichte van de metingen
In de rapportage van de HR2001 is gemeld dat het tijdens de uitvoering van het Onafhankelijk Onderzoek Markermeer (WL|Delft Hydraulics, 1997) gebruikte stromingsmodel is afgeregeld met behulp van metingen van 4 meetstations tijdens zeven stormen. Het afregelen van een model betekent, dat een aantal modelparameters zodanig wordt gekozen dat de modelresultaten zo goed mogelijk overeen komen met de gemeten waarden. Het in 2005 geactualiseerde en uitgebreide stromingsmodel is opnieuw afgeregeld, op 6 meetstations (inclusief Hollandsche Brug en Nijkerk) voor een zestal stormen, zie Alkyon&Meander (2005).

Voor actualisering van het stromingsmodel zijn de afgeregelde modelresultaten vergeleken met metingen, Alkyon&Meander (2005):

'De resultaten van de afregeling laten zien dat over het algemeen het gedrag van het model tijdens de stormen goed overeenkomt met de metingen. De grote waarden van opwaaiing en afwaaiing worden echter niet bereikt vanwege beperkingen in de opgelegde windcondities. Aanvullende simulaties met aangepaste windcondities tonen duidelijk aan dat de toegepaste windvelden (vanuit de downscaling methode) de hogere windcondities onderschatten.'

De afwijkingen tussen meting en model worden naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door de wijze waarop ruimtelijke windvelden in het model worden geschematiseerd. Ruimtelijk windvelden geven de windcondities in een gebied weer, rekening houdend met de invloed van de ruwheid van landmassa's

[1] Dit is het wettelijk voorgeschreven modelinstrumentarium.

in de directe omgeving van het watersysteem. Met andere woorden: er wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met het verschijnsel dat het boven open water tijdens eenzelfde storm harder waait dan boven land (WL|Delft Hydraulics, 1997).

Een gevoeligheidsanalyse heeft aangetoond dat een betere reproductie van de metingen alleen mogelijk is met behulp van nauwkeurige ruimtelijke windvelden. Ten behoeve van de HR2001 is derhalve een uitgebreide studie uitgevoerd naar de ruimtelijke windvelden voor het Markermeer. Het resultaat van de studie is een 'state of the art' beschrijving van de maatgevende ruimtelijke windvelden. Deze beschrijving bevat de stand van de techniek van dat moment (1997). Sindsdien is er geen aanvullend onderzoek gedaan naar de beschrijving van de ruimtelijk windvelden.

In de onderhavige studie zijn de ruimtelijke windvelden uit de HR2006 gebruikt. Dit zijn de meest recente ruimtelijke windvelden voor het Markermeer; hiermee wordt de best beschikbare informatie gebruikt voor deze MER-studie.

onderbouwing verschillen tussen WL2000 en HR2006 (voorlopig)
Voor de toetsing van waterkeringen is tot nu toe gebruik gemaakt van de actuele Hydraulische Randvoorwaarden 2001 zoals gedefinieerd in RWS (2001). In RWS (2001) zijn echter geen randvoorwaarden gedefinieerd voor de Eem. In het kader van de startnotitie is daarom gebruik gemaakt van de randvoorwaarden zoals gespecificeerd in WL| Delft Hydraulics (2000).

Eind 2005 zijn de concept Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor de Eem bepaald. Deze nieuwe randvoorwaarden wijken af van de randvoorwaarden zoals gepresenteerd in WL| Delft Hydraulics (2000). De oorzaak van deze verschillen is geanalyseerd in Alkyon&Meander (2005):

'De geconstateerde verschillen kunnen mogelijk samenhangen met het volgende:
- *de afvoer: zowel de maximum waarde als het verloop kunnen afwijken,*
  Sobek: afvoergolf ***versus*** *WAQUA: constant;*
- *de schematisatie van Eem: de basis voor de schematisatie is voor beide modellen (Sobek?) zeer beperkt omdat goede dieptegegevens ontbreken;*
- *de windmodellering: het is niet bekend of beide modellen uitgaan van dezelfde windschuifspanningscoëfficiënten, bovendien is onbekend of in Sobek 'hiding' is toegepast (locale reductie van windsnelheden door omgeving)'.*

Op basis van de beschikbare metingen is op dit moment de maximaal haalbare kwaliteit van de bepaling van de waterbeweging in de Eem behaald. Gegeven het feit dat (i) de hydraulische randvoorwaarden gedomineerd worden door combinaties van wind en meerpeil en (ii) de overlast door de bovenafvoer van de Eem niet als primaire dreiging wordt gezien, wordt gesteld dat de kwaliteit van het WAQUA model voldoende is ten aanzien van de waterbeweging in de Eem.

conclusies ten aanzien van voorspelkracht hydraulische berekeningen
De hydraulische berekeningen worden uitgevoerd met behulp van het tweedimensionale stromingsmodel WAQUA. Dit stromingmodel is in 2005 geactualiseerd en uitgebreid met onder andere gegevens van de Eemvallei. De hoogte van de secundaire keringen in het stromingsmodel uit 2005 wijkt echter af van de daadwerkelijke en toekomstige hoogte van de secundaire keringen in de Eemvallei. Daarnaast bestaat onduidelijkheid over het al dan niet bezwijken van de keringen tijdens maatgevende omstandigheden. De in de concept HR2006 gepresenteerde toetspeilen zijn voor deze studie gecorrigeerd. Voor dijkring 45 (Gelderse Vallei) zijn de toetspeilen aangepast voor de juiste hoogte van de keringen; voor dijkring 46 zijn de toetspeilen gecorrigeerd voor het bezwijken van de secundaire keringen. Beide correcties leiden tot de maatgevende situatie voor de betreffende dijkring.

Het geactualiseerde stromingsmodel is afgeregeld aan de hand van een zestal stormen, gemeten in zes meetstations (waaronder Hollandsche Brug en Nijkerk). De resultaten van de afregeling laten zien dat het gedrag van het stromingsmodel overeenkomt met de metingen, maar dat situaties met opwaai-

ing worden onderschat. De oorzaak hiervan ligt –waarschijnlijk- bij de schematisatie van de ruimtelijke windvelden. In het kader van deze studie heeft dit echter geen effect op het onderscheidend karakter van de verschillende maatregelen.

In de onderhavige studie wordt gebruik gemaakt van ruimtelijke windvelden (overeenkomstig HR2006). Gegeven het feit dat de beschrijving van de ruimtelijke windvelden uitgebreid is onderzocht, wordt aangenomen dat de maximaal haalbare kwaliteit van deze ruimtelijke windvelden op dit moment is behaald en dat deze voldoende is voor toepassing in deze MER-studie.

De voorspelkracht van de hydraulische berekeningen kent enige beperkingen. Deze beperkingen zijn echter met de huidige kennis en informatie niet op te heffen. De gebruikte hydraulische berekeningen zijn op dit moment 'state of the art', en bevatten daarom de best beschikbare informatie voor deze MER-studie.

referenties

[1.] Alkyon&Meander, 2005. Uitbreiding Waqua-schematisatie Markermeer, fase 2. Definitieve schematisatie en afregeling stromingsmodel (A1382 / 10136.2)

[2.] Waterloopkundig Laboratorium, 1997. Onafhankelijk onderzoek Markermeer Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1b-3, Stormprofiel en windvelden (H3211)

[3.] WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005. Productieberekeningen Hydraulische Randvoorwaarden 2006, IJburg en de Eem (RI-4393A)

BIJLAGE III Hydraulische berekeningen ten behoeve van referentie situatie

Witteveen+Bos

notitie

water
infrastructuur
milieu
bouw

Witteveen+Bos
Heemraadssingel 319
postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
telefoon 010 244 28 00
telefax 010 244 28 88

onderwerp	WAQUA berekeningen ten behoeve van referentie situatie
project	MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren
opdrachtgever	Waterschap Vallei en Eem
projectcode	LEU36-1
referentie	LEU36-1/doea/057
opgemaakt door	ir. T. Wilms
goedgekeurd door	ir. A.J. Smale paraaf
status	definitief
datum opmaak	27 oktober 2006

1. INLEIDING

In de WAQUA-schematisatie, zoals gebruikt voor de concept Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (HR2006) voor de Eemvallei, wijken de hoogten van de secundaire waterkeringen in de Eempolder af van de toekomstige hoogten. Daarnaast is er onduidelijkheid omtrent de sterkte van de secundaire keringen: '*Zullen deze keringen bezwijken tijdens een maatgevende storm?*'.

Voor de te beschouwen dijkringgebieden zijn verschillende situaties maatgevend:

dijkring 45: Gelderse Vallei
Voor dijkring 45 geldt dat de waterstanden voor de primaire waterkering het hoogst zijn als de keringen in de Eempolder niet bezwijken. Er vindt dan geen berging in de polders plaats, resulterend in de hoogst mogelijke waterstand voor de primaire kering. De maatgevende situatie voor deze dijkring bestaat dan ook uit het niet bezwijken van de secundaire keringen.

dijkring 46: Eempolder
De primaire waterkeringen van de Eempolder wordt op dit moment beschermd door de secundaire keringen. De secundaire keringen zorgen ervoor dat er geen/beperkt water in de polder kan stromen. Het bezwijken van de secundaire keringen leidt dan ook tot de maatgevende situatie voor deze dijkring.

Op basis van het bovenstaande is besloten om de in de concept HR2006 gepresenteerde toetspeilen voor dijkring 45 te corrigeren voor de juiste hoogte van de keringen en de toetspeilen van dijkring 46 te corrigeren voor het bezwijken van de secundaire keringen. Dit is gedaan door een tweetal aanvullende WAQUA berekeningen uit te voeren met respectievelijk (i) juiste hoogte van de keringen en (ii) zonder secundaire keringen in de Eemvallei.

Deze notitie beschrijft de bepaling van de correctie van de concept toetspeilen HR2006.

2. WERKWIJZE

2.1. Inleiding

Voor een beschrijving van de gebruikte model- en stormschematisatie wordt verwezen naar WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos (2005). Op basis van de resultaten van WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos (2005) is het illustratiepunt bepaald (§2.2). In de modelschematisatie is de hoogte van een *deel van de keringen aangepast.*

2.2. Illustratiepunt

Ter bepaling van de HR2006 zijn berekeningen gemaakt voor 216 combinaties van meerpeil, windsnelheid en windrichting (WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005). Bij het toetsen van een waterkering zijn verschillende combinaties maatgevend, afhankelijk van het beschouwde toetscriterium.

Om het effect van verschillende hoogten van de secundaire keringen op de HR2006 te onderzoeken, wordt gebruik gemaakt van de condities behorende bij het illustratiepunt. Dit is de meest waarschijnlijke combinatie van meerpeil, windsnelheid en windrichting, behorende bij een 1/1250 jaar gebeurtenis. Dit punt is ook bepaald voor de gevoeligheidsanalyse van de afvoer.

In de rapportage van de concept HR2006 (WL & W+B, 2005) zijn de illustratiepunten vastgesteld voor de locaties uit de set Eem_contr_uitgebreid. De ligging van deze locaties is gepresenteerd in Bijlage 2. Voor de gevoeligheidsanalyse van de hoogte van de keringen is gebruik gemaakt van illustratiepunten zoals bepaald voor de locaties op de as van de Eem. Voor de gevoeligheidsanalyse van de Eem-afvoer is gebruikt gemaakt van het illustratiepunt behorende bij de meest bovenstrooms gelegen locatie op de Eem. Deze zijn gekozen omdat voor deze locaties de uniformiteit van de illustratiepunten zeer groot is en omdat een andere locatie niet leidt tot een ander illustratiepunt en daarmee tot andere maatgevende condities.

Voor beide analyses bestaat het illustratiepunt uit een meerpeil van –0,40 m + NAP, een windsnelheid van 33 m/s en een windrichting van 300°N (bijlage L-8 van WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos (2005)). Opgemerkt dient te worden, dat het hier om de potentiële windsnelheid bij Schiphol gaat. Deze windsnelheid is vervolgens vertaald naar de open water windsnelheid boven het onderzoeksgebied.

In deze notitie is derhalve gebruikt gemaakt van de berekening 'mp1u33_300' om het effect te onderzoeken van de verschillen in hoogte van de secundaire keringen en de verschillen in afvoer.

2.3. Modelschematisatie

De maximale waterstanden in de Eemvallei zijn bepaald met het 2D-stromingsmodel WAQUA. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de WAQUA-schematisatie, die eveneens gebruikt is voor het bepalen van de HR2006. Met het WAQUA-model is de waterbeweging berekend voor het Markermeer, de aanliggende randmeren en de Eemvallei tot Amersfoort, tijdens een gegeven combinatie van meerpeil, windsnelheid en windrichting.

Voor de gevoeligheidsanalyse voor de hoogte van de secundaire keringen, is de WAQUA-schematisatie aangepast. Voor de verschillende dijkvakken is handmatig de hoogte van de keringen aangepast. De overige WAQUA-instellingen zijn conform WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos (2005).

3. RESULTATEN BEREKENINGEN MET VERSCHILLENDE HOOGTEN KERINGEN

3.1. Inleiding

Het effect van het verschil in hoogte van secundaire waterkeringen is onderzocht, middels de volgende berekeningen:

- alle keringen in de Eemvallei zijn conform de berekeningen voor de HR2006;
- de hoogten van een aantal keringen is aangepast;
- alle keringen zijn verwijderd.

De ligging van de keringen is gepresenteerd in Bijlage I. De hoogten van de kering voor de verschillende situaties staan in Tabel 3.1. en Bijlage 3.

Tabel 3.1. Hoogten van de secundaire waterkeringen voor de dijkvakken

dijkvak	geen aanpassingen [m + NAP]	aangepaste hoogten [m + NAP]	zonder keringen [m + NAP]
1	1,30		verwijderd
2	1,50		verwijderd
3	1,10		verwijderd
4	0,70		verwijderd
5	1,00		verwijderd
6	0,70		verwijderd
7	1,00		verwijderd
8	1,00		verwijderd
9	1,20		verwijderd
10	1,30	0,90	verwijderd
11	1,50	1,30	verwijderd
12	1,30	1,20	verwijderd
13	1,70	1,40	verwijderd
14	1,00		verwijderd
15	1,70	1,40	verwijderd
16	1,30		verwijderd
17	2,27	1,70	verwijderd
18a*	2,24	1,40	verwijderd
18b*	2,24	1,20	verwijderd
18c*	2,24	1,50	verwijderd
19	1,00		verwijderd
20	1,00		verwijderd

* De kaden van dijkvak 18 zijn verdeeld in drie groepen, de nummering is weergegeven in Bijlage I

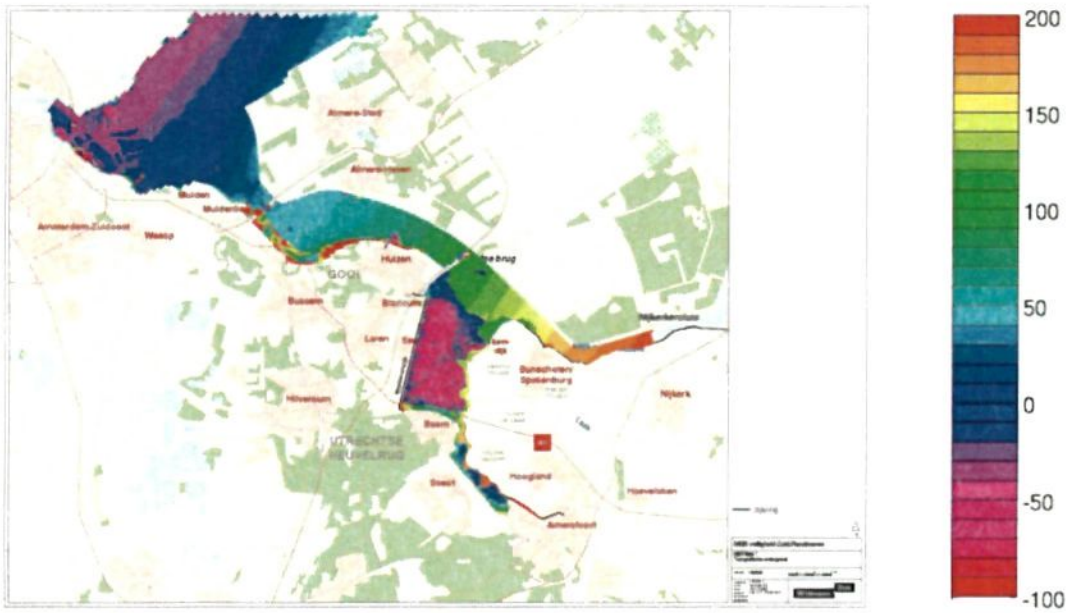
De waterstanden, die volgen uit de berekeningen, zijn vergeleken aan de hand van de maximale waterstandsvelden. Voor elke afzonderlijke rekenlocatie wordt voor de gehele berekende storm de hoogst bereikte waterstand bepaald. Dit betekent dat de gepresenteerde maximale waterstandsvelden niet voor elke locatie hetzelfde tijdstip representeren. Voor locaties met afwaaiing treedt de maximale waterstand bijvoorbeeld op t = 0 op, omdat de waterstand daalt wanneer de storm sterker wordt. Voor locaties met opwaaiing, zal de hoogste waterstand in principe optreden rond of juist na het hoogtepunt van de storm.

3.2. Resultaten berekeningen met verschillende hoogten keringen

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Afbeelding 3.1. tot en met Afbeelding 3.5. Afbeelding 3.1. geeft de maximale waterstanden in de Eemvallei voor de situatie zoals die voor de HR2006 is uitgerekend, Afbeelding 3.2. geeft deze met de aangepaste hoogten van de keringen. In Afbeelding 3.3. staan de maximale waterstanden wanneer alle keringen zijn verwijderd.

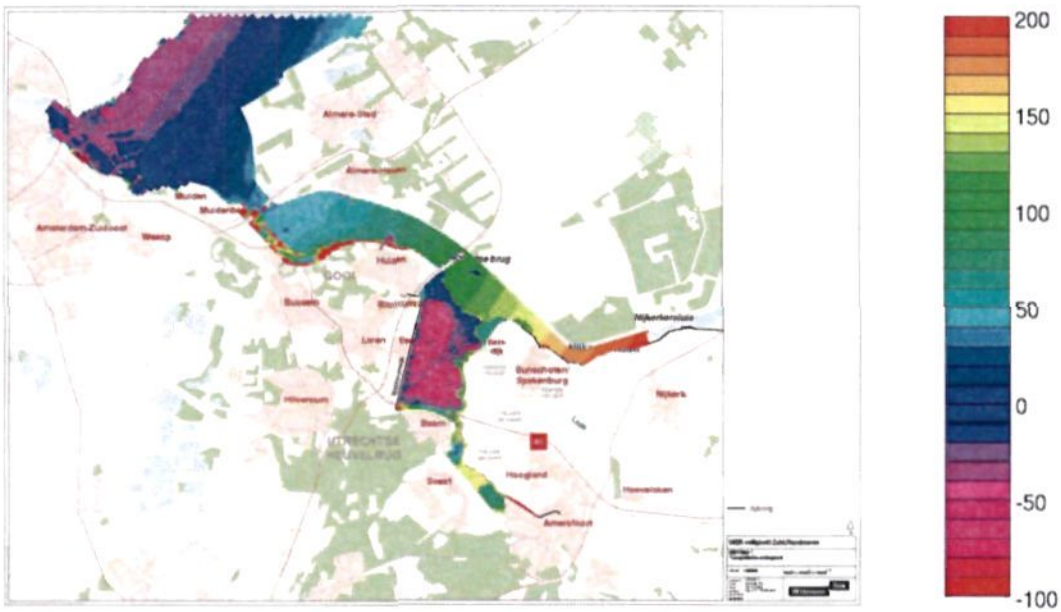
Afbeelding 3.1. Resultaten berekening voor situatie volgens HR2006 in Eemvallei

Ber.000: maximale waterstand [cm+NAP]



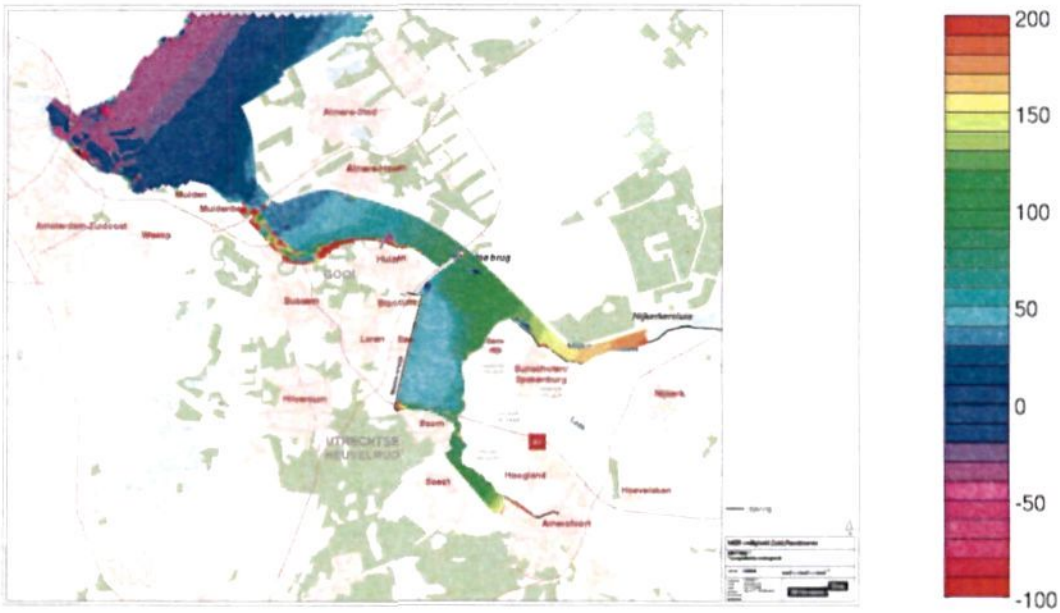
Afbeelding 3.2. Resultaten berekening met aangepaste hoogten voor keringen in Eemvallei

Ber.001: maximale waterstand [cm+NAP]



Afbeelding 3.3. Resultaten berekening zonder keringen in Eemvallei

Ber.002: maximale waterstand [cm+NAP]



De verschillen in maximale waterstanden tussen de situatie voor de HR2006 en met aangepaste hoogten van de keringen en zonder keringen, staan respectievelijk in Afbeelding 3.4. en 3.5.

Afbeelding 3.4. Verschil in maximale waterstanden 'aangepaste hoogten - situatie HR2006'

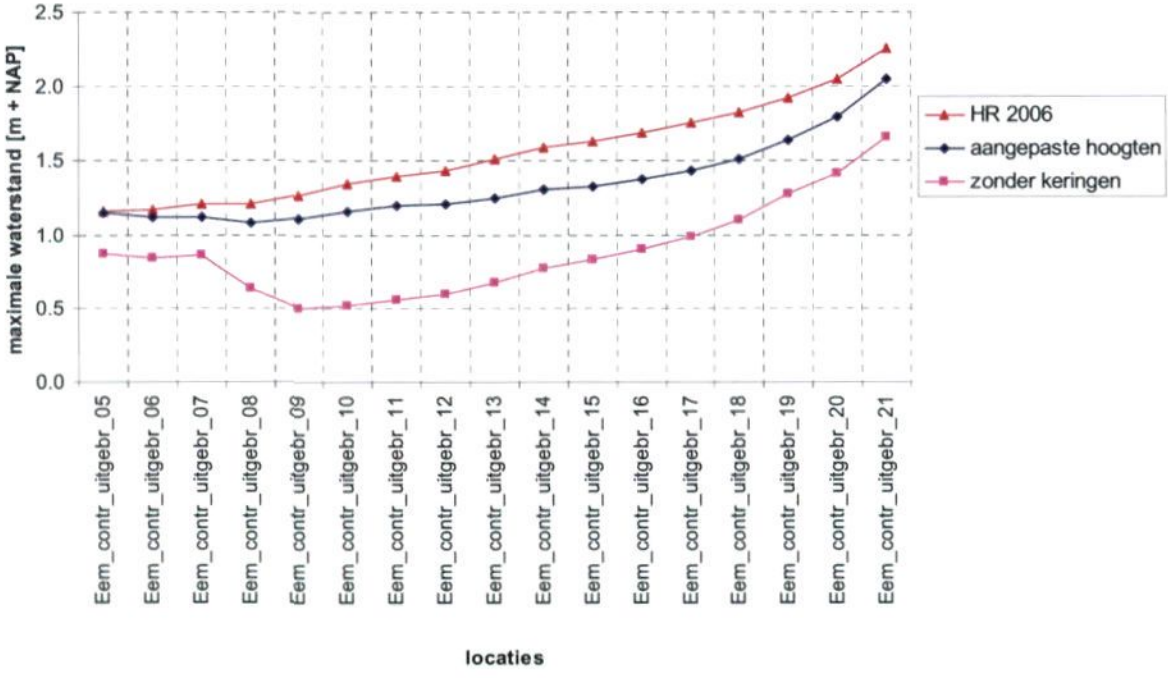
Afbeelding 3.5. Verschil in maximale waterstanden 'zonder keringen - situatie HR2006'

Voor een aantal locaties in de Eemvallei zijn de maximale waterstanden in grafiekvorm weergegeven. De totale set met locaties (1 tot en met 61 (Bijlage 2)) is opgeknipt in twee delen:

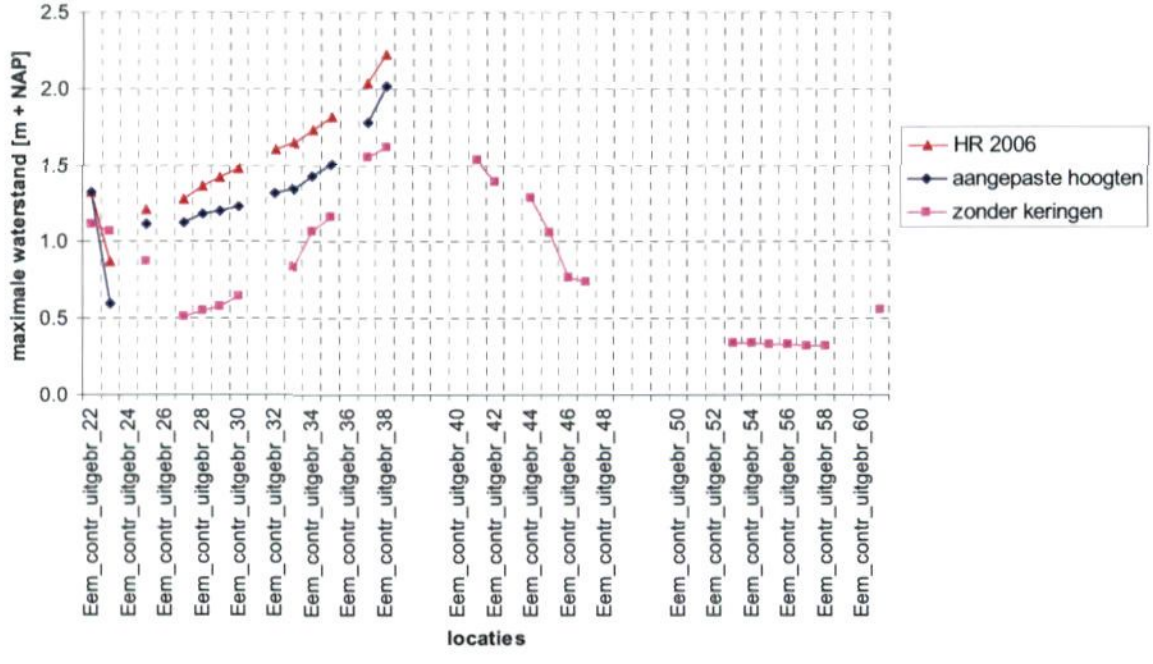
(i) locaties langs de as van de Eem (Afbeelding 3.6.);
(ii) locaties langs de primaire waterkering in het buitendijkse gebied (Afbeelding 3.7.).

De numerieke waarden die ten grondslag liggen aan Afbeelding 3.6. en 3.7. zijn in tabelvorm opgenomen in Bijlage 4, daarin staat ook het verschil in maximale waterstand. De locaties die in de betreffende berekening droogvallen zijn niet meegenomen in deze afbeeldingen.

Afbeelding 3.6. Maximale waterstanden langs lengteas Eem



Afbeelding 3.7. Maximale waterstanden in buitendijks gebied Eemvallei



Een aantal locaties valt droog in het buitendijkse gebied van de Eemvallei. In Tabel 3.2. staat per berekening een overzicht van de locaties die droogvallen.

Tabel 3.2. Locaties die droogvallen

locatie	geen aanpassingen	aangepaste hoogten	zonder keringen
Eem_contr_uitgebr_24	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_26	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_31	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_32			x
Eem_contr_uitgebr_36		x	x
Eem_contr_uitgebr_39	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_40	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_41	x	x	
Eem_contr_uitgebr_42	x	x	
Eem_contr_uitgebr_43	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_44	x	x	
Eem_contr_uitgebr_45	x	x	
Eem_contr_uitgebr_46	x	x	
Eem_contr_uitgebr_47	x	x	
Eem_contr_uitgebr_48	x	x	
Eem_contr_uitgebr_49	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_50	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_51	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_52	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_53	x	x	
Eem_contr_uitgebr_54	x	x	
Eem_contr_uitgebr_55	x	x	
Eem_contr_uitgebr_56	x	x	
Eem_contr_uitgebr_57	x	x	
Eem_contr_uitgebr_58	x	x	
Eem_contr_uitgebr_59	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_60	x	x	x
Eem_contr_uitgebr_61	x	x	

3.3. Interpretatie resultaten

Eerst worden de resultaten van berekening met de aangepaste hoogten bekeken, daarna volgen de resultaten van de berekening zonder keringen. Vervolgens worden de resultaten geïnterpreteerd.

aangepaste hoogten voor keringen

- waterstandverhogende effecten (Afbeelding 3.4.):
  - in de polders 18b en 18c achter dijkvak 18 en beperkt in polder 18a;
- waterstandverlagende effecten:
  - in de polder achter dijkvak 3;
  - op de as van de Eem, maximaal 0,30 m (Afbeelding 3.6.);

zonder keringen

- waterstandverhogende effecten (Afbeelding 3.5.):
  - in de polder achter dijkring 9;
  - in de polders achter dijkring 45 (Gelderse Vallei);
  - in alle polders achter dijkvak 18;
- waterstandverlagende effecten:
  - in de polder achter dijkring 1;
  - op de as van de Eem, tussen de 0,30 m en 0,85 m (Afbeelding 3.7.);
- opvallende zaken:

- in de polders achter dijkvak 10 tot en met 15 en de polder achter dijkvak 18 vindt opwaaiing plaats (Afbeelding 3.3.);

Verklaring van de waterstandverhogende effecten:
- bij het gebruik van de aangepaste hoogten is de maximale waterstand op de Eem hoger dan de keringen van polder 18b en 18c en een deel van de keringen van polder 18a (nummering van de polders is weergegeven in Bijlage I). Hierdoor inunderen polders 18b en 18c in hun geheel en 18a deels (Afbeelding 3.4.);
- bij afwezigheid van de keringen inunderen alle polders (Afbeelding 3.5.).

Verklaring van de waterstandverlagende effecten:
- bij de berekening met aangepaste hoogten is de waterstand op de Eem gedaald en daalt ook de waterstand achter de keringen van dijkvak 3 (Afbeelding 3.4.);
- bij de berekening zonder keringen is de waterstand op de Eem gedaald en daalt ook de waterstand achter de keringen van dijkvak 1 (Afbeelding 3.5.).

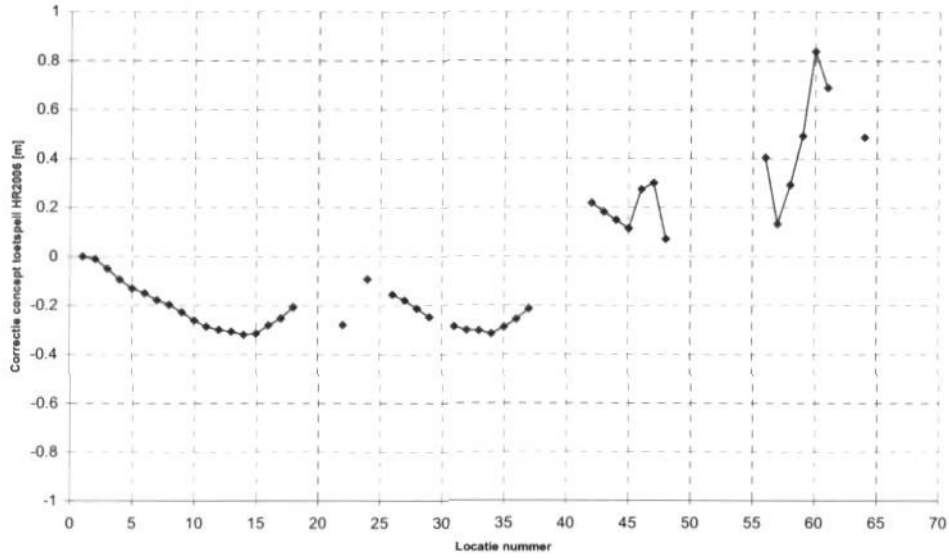
Verschillen in waterstandverlagende effecten langs de as van de Eem (Afbeelding 3.6.). Voor zowel de berekeningen met de aangepaste hoogten als zonder keringen vindt er verlaging plaats van de maximale waterstand op de Eem.
- de kleinste waterstandverlaging treedt wanneer de hoogten van de keringen van een aantal dijkvakken verlaagd wordt. Hierdoor stromen de polders achter deze dijkvakken vol en daalt de waterstand op de Eem;
- wanneer alle keringen zijn verwijderd daalt de waterstand aanzienlijk;
- bij Eem_contr_uitgebr 5 tot en met 7 vindt duidelijk opwaaiing plaats en is de waterstand hoger dan de waterstanden meer bovenstrooms gelegen op de Eem.

Verschillen in waterstand in de buitendijkse gebieden in de Eemvallei (Afbeelding 3.7.):
- bij de meetlocaties Eem_contr_uitgebr 23 en 25, de polders achter dijkvakken 3 en 4, vindt er een verlaging van de maximale waterstand plaats ten opzichte van de HR2006, omdat er bovenstrooms polders inunderen. De maximale waterstand is hoger bij de berekening zonder keringen dan bij het gebruik van de aangepaste hoogten, omdat bij de eerste de keringen lager zijn en opwaaiing een groter effect heeft;
- de meetlocaties Eem_contr_uitgebr 27 tot en met 38 liggen aan de oostzijde van de Eem en de waterstanden zijn vergelijkbaar met die op de as van de Eem. (Bij meetlocatie Eem_contr_uitgebr 32 bevindt zich een vernauwing in de Eem waardoor de waterstand opgestuwd wordt);
- bij dijkvak 18 (meetlocaties Eem_contr_uitgebr 39 tot en met 48) stijgt de maximale waterstand bij de afwezigheid van keringen. Dit is ten opzichte van de berekeningen voor de HR2006, in die situatie komt nauwelijks water in deze polders;
- wanneer de berekening wordt uitgevoerd zonder keringen, inunderen de polders achter dijkvak 10 tot en met 15 en stijgt de waterstand bij de meetlocaties Eem_contr_uitgebr 49 tot en met 58.

Met deze berekeningen is de benodigde correctie op de toetspeilen bepaald voor de verschillende meetlocaties, deze staan in Bijlage V. Doordat polders inunderen, die voornamelijk ten westen van de Eem liggen, daalt de waterstand op de as van de Eem en ook bij dijkring 45 (Gelderse Vallei). Dit heeft ook een stijging tot gevolg van de peilen in deze polders, dit zijn de gebieden aan de westelijke oever van de Eem ten zuiden van de A1 en de dijkring 46 (Eempolder).

De te hanteren correctie is gepresenteerd in Afbeelding 3.8. De numerieke waarden van de correctie op de toetspeilen zijn gepresenteerd in Bijlage V.

Afbeelding 3.8. Te hanteren correctie op concept toetspeilen HR2006



De resultaten van de berekeningen met de aangepaste hoogten van de keringen dienen als uitgangspunt voor de effectenbepaling. Niet alle hoogten zijn correct voor deze keringen, maar de gevolgen van de geïnduceerde fout liggen binnen de nauwkeurigheid van de veiligheidstoetsen.

In de situatie zonder keringen, inunderen alle polders achter dijkvak 18. Het verschil in maximale waterstand in deze polders is gemiddeld 0,9 meter. De oppervlakte van deze polders is circa 7,5 km2, wat een berging creëert van 6 500 000 m3. Wanneer dit volume geborgen zou moeten worden in de Eempolder zou de waterstand daar 0,30 m stijgen.

4. CONCLUSIES

In deze notitie is de correctie op de concept toetspeilen HR2006 bepaald voor dijkringen 45 en 46. Daarvoor zijn twee aanvullende berekeningen uitgevoerd met aangepaste hoogten voor de keringen en zonder keringen. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het illustratiepunt (een representatieve combinatie van meerpeil, windsnelheid en windrichting, respectievelijk –0,40 m + NAP, 33 m/s en 300° N).

De berekeningen leveren de volgende resultaten:

(i) aangepaste hoogte van keringen

- waterstandverhogende effecten:
  - in de polders 18b en 18c achter dijkvak 18 en beperkt in polder 18a (nummering van de polders is weergegeven in Bijlage I);
- waterstandverlagende effecten:
  - in de polder achter dijkvak 3;
  - op de as van de Eem, maximaal 0,30 m.

(ii) zonder keringen

- waterstandverhogende effecten:
  - in de polder achter dijkring 9;
  - in de polders achter dijkring 45 (Gelderse Vallei);
  - in alle polders achter dijkvak 18;
- waterstandverlagende effecten:
  - in de polder achter dijkring 1;
  - op de as van de Eem, tussen de 0,30 m en 0,85 m.

Deze effecten worden veroorzaakt door lagere hoogten van de keringen van sommige dijkvakken.

Wanneer zonder keringen gerekend wordt, inunderen alle polders. Het verschil in maximale waterstand in deze polders is gemiddeld 0,9 meter tussen de verschillende berekeningen. Wanneer het volume uit deze polders geborgen zou moeten worden in de Eempolder zou de waterstand daar 0,30 m stijgen. Bij berekeningen met aangepaste hoogten van de keringen inunderen de polders 18b en 18c geheel en 18a gedeeltelijk.

Voor zowel de berekeningen met aangepaste hoogten als zonder keringen vindt er verlaging plaats van de maximale waterstand op de Eem:

- de kleinste waterstandverlaging treedt op wanneer de hoogten van de keringen van een aantal dijkvakken verlaagd wordt. Hierdoor stromen de achtergelegen polders vol en daalt de waterstand op de Eem;
- wanneer alle keringen zijn verwijderd daalt de waterstand aanzienlijk. Bij Eem_contr_uitgebr 5 tot en met 7 vindt duidelijk opwaaiing plaats en is de waterstand hoger dan de waterstanden meer bovenstrooms gelegen op de Eem.

De aanpassing van de hoogten van keringen is vooral van invloed op het gebied waarin dit wordt toegepast. De invloed benedenstrooms is zeer beperkt. De resultaten van de berekeningen met de aangepaste hoogten dienen als uitgangspunt voor de effectenbepaling.

Met deze berekeningen is bepaald wat de maximale waterstanden zijn bij de verschillende meetlocaties. Deze staan in Bijlage V. Opvallend zijn een verlaging van het peil op de as van de Eem en bij dijkring 45 (Gelderse Vallei) en een stijging van de peilen bij de westelijke oever van de Eem en dijkring 46 (Eempolder).

5. REFERENTIES

[ref. 1.] Alkyon en Meander, 2005. Uitbreiding Waqua-schematisatie Markermeer. Fase 2, definitieve schematisatie en afregeling stromingsmodel. Eindrapport A1382/10136.2.

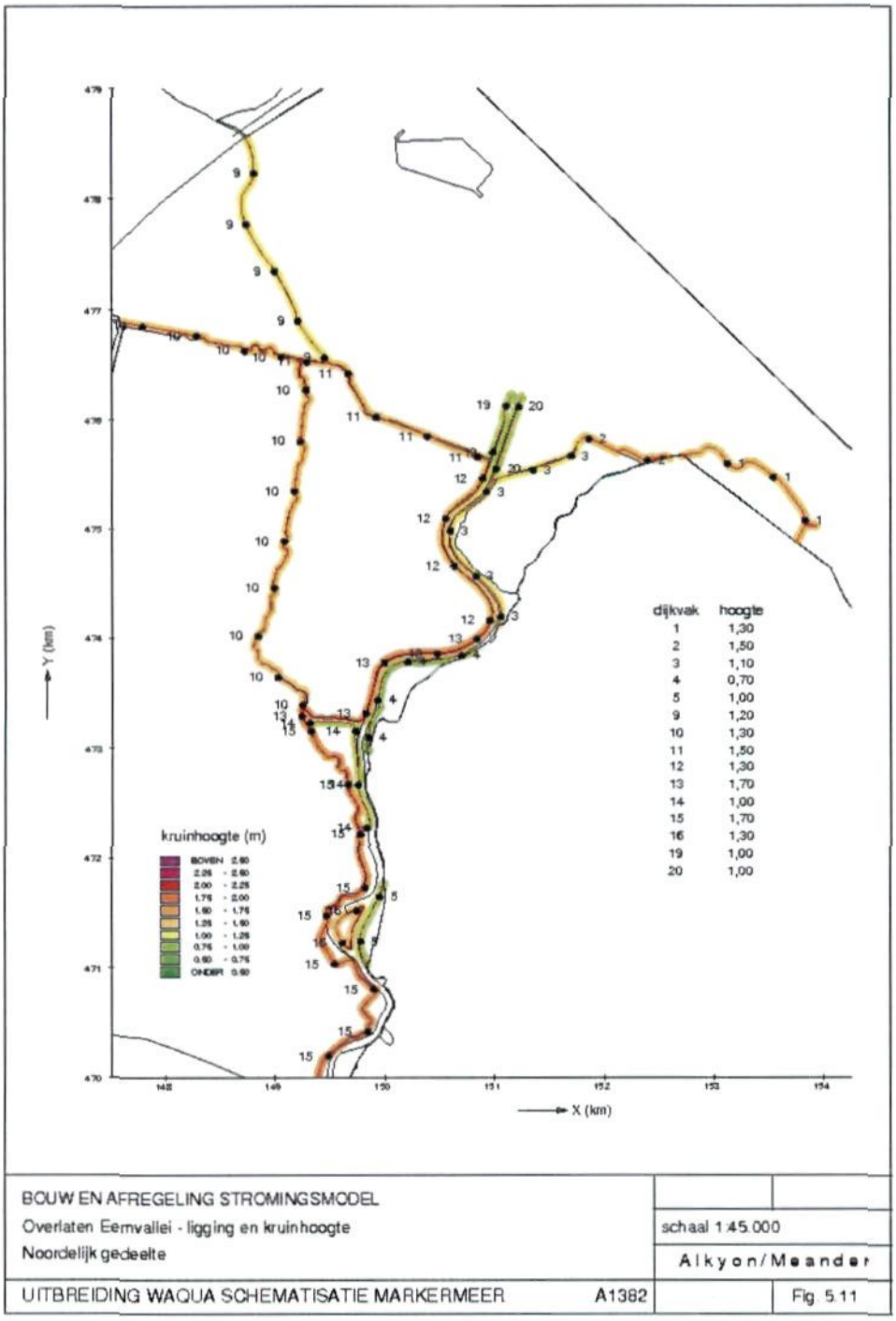
[ref. 2.] Waterschap Vallei en Eem, maart 2006. Schetsontwerp, verbetermaatregelen regionale waterkeringen Eemgebied.

[ref. 3.] WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005. Productieberekeningen Hydraulische Randvoor waarden 2006, IJburg en de Eem (RI-4393A).

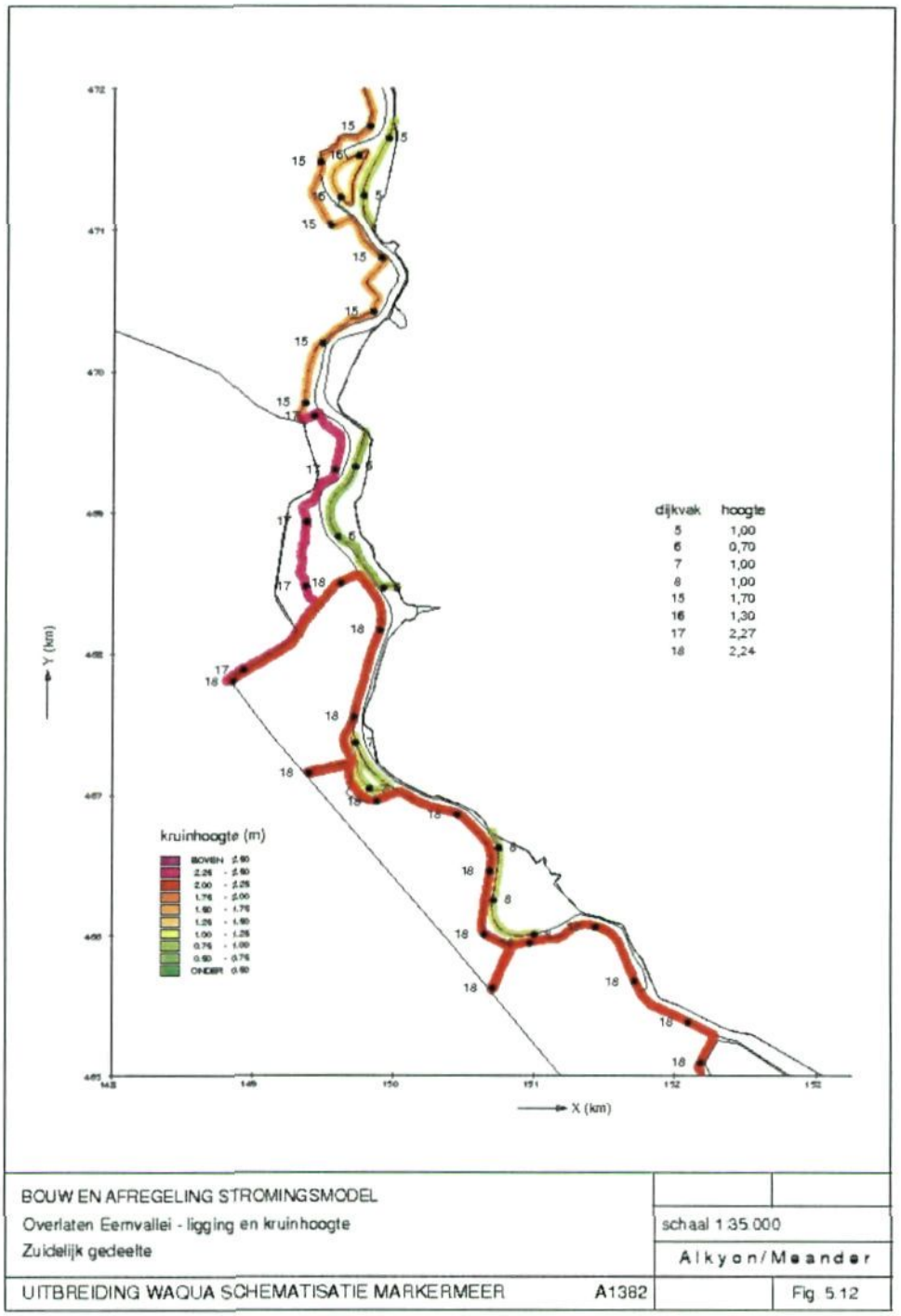
[ref. 4.] Witteveen+Bos, april 2006. Effect regionale keringen en Eem-afvoer.

BIJLAGE 1 Ligging en hoogte van overlaten Eemvallei

Afbeelding I.1. Ligging en nummering secundaire keringen Alkyon&Meander 2005

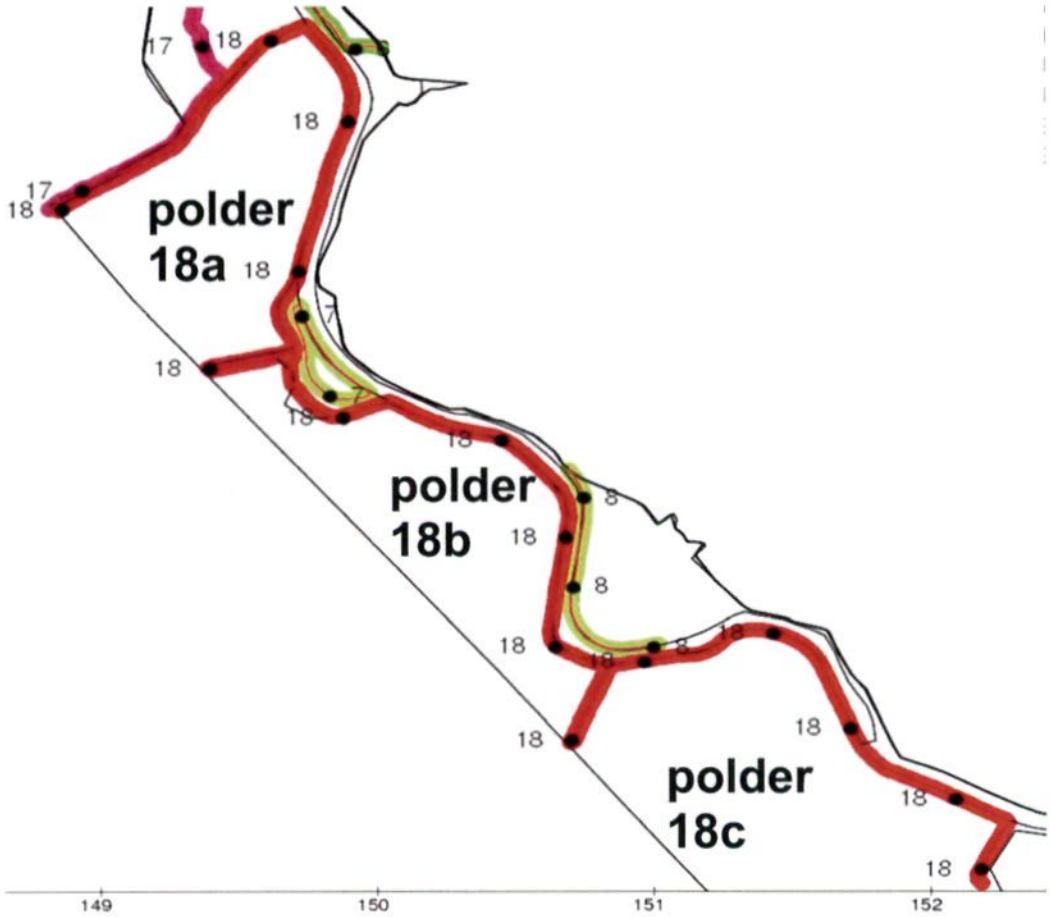


Afbeelding I.2. Ligging en nummering secundaire keringen Alkyon&Meander 2005



BOUW EN AFREGELING STROMINGSMODEL		
Overlaten Eemvallei - ligging en kruinhoogte	schaal 1:35.000	
Zuidelijk gedeelte	Alkyon/Meander	
UITBREIDING WAQUA SCHEMATISATIE MARKERMEER A1382		Fig. 5.12

Afbeelding I.3. Detail uit Alkyon&Meander 2005, afbeelding 5.12.



BIJLAGE 2 Locaties Eemvallei

Afbeelding B2.1. Eem_contr_uitgebr (WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005)

De locatienummers in Afbeelding B2.1. komen overeen met de nummers van de locatienamen in de set Eem_contr_uitgebreid.

BIJLAGE 3 Verschillende hoogten van secundaire keringen

In deze bijlage staan de hoogten van de secundaire keringen die gebruikt zijn voor de drie berekeningen. De aangepaste hoogten zijn conform afspraken met Paul Neijenhuis.

Tabel B3.1. Hoogten van de secundaire waterkeringen voor de dijkvakken

dijkvak	geen aanpassingen [m + NAP]	aangepaste hoogten [m + NAP]	zonder keringen [m + NAP]
1	1,30		verwijderd
2	1,50		verwijderd
3	1,10		verwijderd
4	0,70		verwijderd
5	1,00		verwijderd
6	0,70		verwijderd
7	1,00		verwijderd
8	1,00		verwijderd
9	1,20		verwijderd
10	1,30	0,90	verwijderd
11	1,50	1,30	verwijderd
12	1,30	1,20	verwijderd
13	1,70	1,40	verwijderd
14	1,00		verwijderd
15	1,70	1,40	verwijderd
16	1,30		verwijderd
17	2,27	1,70	verwijderd
18a*	2,24	1,40	verwijderd
18b*	2,24	1,20	verwijderd
18c*	2,24	1,50	verwijderd
19	1,00		verwijderd
20	1,00		verwijderd

* De kaden van dijkvak 18 zijn verdeeld in drie groepen, de nummering is weergegeven in Bijlage I

BIJLAGE 4 Maximale waterstanden en verschillen Eemvallei bij verschillende hoogten keringen

Tabel B4.1. Maximale waterstanden en verschillen langs lengteas Eem

locaties	HR2006 [m + NAP]	aangepaste hoogte [m + NAP]	zonder keringen [m + NAP]	verschil HR2006 aangepaste hoogte [m]	verschil HR2006 zonder keringen [m]
Eem_contr_uitgebr_5	1.17	1.15	0.87	0.01	0.30
Eem_contr_uitgebr_6	1.17	1.12	0.84	0.05	0.33
Eem_contr_uitgebr_7	1.21	1.12	0.86	0.09	0.35
Eem_contr_uitgebr_8	1.21	1.08	0.63	0.13	0.58
Eem_contr_uitgebr_9	1.26	1.11	0.50	0.15	0.76
Eem_contr_uitgebr_10	1.34	1.16	0.52	0.18	0.82
Eem_contr_uitgebr_11	1.39	1.20	0.56	0.20	0.84
Eem_contr_uitgebr_12	1.44	1.21	0.60	0.23	0.84
Eem_contr_uitgebr_13	1.51	1.25	0.68	0.26	0.83
Eem_contr_uitgebr_14	1.59	1.31	0.77	0.29	0.82
Eem_contr_uitgebr_15	1.63	1.33	0.83	0.30	0.80
Eem_contr_uitgebr_16	1.69	1.38	0.90	0.31	0.79
Eem_contr_uitgebr_17	1.76	1.44	0.99	0.32	0.76
Eem_contr_uitgebr_18	1.83	1.51	1.11	0.31	0.72
Eem_contr_uitgebr_19	1.92	1.64	1.28	0.28	0.65
Eem_contr_uitgebr_20	2.05	1.80	1.42	0.25	0.63
Eem_contr_uitgebr_21	2.26	2.05	1.66	0.21	0.59

Tabel B4.2. Maximale waterstanden en verschillen in buitendijks gebied Eemvallei

locaties	HR2006 [m + NAP]	aangepaste hoogte [m + NAP]	zonder keringen [m + NAP]	verschil HR2006 aangepaste hoogte [m]	verschil HR2006 zonder keringen [m]
Markermeer					
Eem_contr_uitgebr_1	1.31	1.31	1.10	0.00	0.21
Eem_contr_uitgebr_2	1.18	1.18	0.95	0.00	0.23
Eem_contr_uitgebr_3	1.04	1.04	0.79	0.00	0.25
Eem_contr_uitgebr_4	0.89	0.88	0.64	0.00	0.24
Dijkring 45: Gelderse Vallei					
Eem_contr_uitgebr_22					
Eem_contr_uitgebr_23	0.87	0.60	1.07	0.28	0.20
Eem_contr_uitgebr_24					
Eem_contr_uitgebr_25	1.21	1.12	0.87	0.09	0.35
Eem_contr_uitgebr_26					
Eem_contr_uitgebr_27	1.28	1.13	0.51	0.16	0.77
Eem_contr_uitgebr_28	1.36	1.18	0.55	0.18	0.81
Eem_contr_uitgebr_29	1.42	1.21	0.58	0.21	0.84
Eem_contr_uitgebr_30	1.48	1.23	0.64	0.25	0.84
Eem_contr_uitgebr_31					
Eem_contr_uitgebr_32	1.60	1.32		0.29	
Eem_contr_uitgebr_33	1.65	1.34	0.83	0.30	0.81
Eem_contr_uitgebr_34	1.73	1.43	1.07	0.30	0.67
Eem_contr_uitgebr_35	1.82	1.51	1.16	0.32	0.66
Eem_contr_uitgebr_36					
Eem_contr_uitgebr_37	2.03	1.78	1.55	0.26	0.48
Eem_contr_uitgebr_38	2.23	2.01	1.62	0.21	0.61
Westelijke oever van Eem ten zuiden van A1					
Eem_contr_uitgebr_39					
Eem_contr_uitgebr_40					
Eem_contr_uitgebr_41			1.54		
Eem_contr_uitgebr_42			1.39		
Eem_contr_uitgebr_43					
Eem_contr_uitgebr_44			1.29		
Eem_contr_uitgebr_45			1.06		
Eem_contr_uitgebr_46			0.77		
Eem_contr_uitgebr_47			0.74		
Eem_contr_uitgebr_48					
Dijkring 46: Eempolder					
Eem_contr_uitgebr_49					
Eem_contr_uitgebr_50					
Eem_contr_uitgebr_51					
Eem_contr_uitgebr_52					
Eem_contr_uitgebr_53			0.34		
Eem_contr_uitgebr_54			0.34		
Eem_contr_uitgebr_55			0.33		
Eem_contr_uitgebr_56			0.33		
Eem_contr_uitgebr_57			0.32		
Eem_contr_uitgebr_58			0.32		
Eem_contr_uitgebr_59					
Eem_contr_uitgebr_60					
Eem_contr_uitgebr_61			0.56		

BIJLAGE 5 Correctie concept toetspeilen HR2006

In tabel B5.1. is het volgende weergegeven (van links naar rechts):

1. de locatiepunten;
2. de toetspeilen met aangepaste hoogten van de keringen;
3. de toetspeilen voor de concept HR2006;
4. de correctie van de toetspeilen met aangepaste keringen op die van de concept HR2006.

Tabel B5.1. correctiefactoren concept toetspeilen HR2006

	Nieuwe veiligheidstoets[1] Waterstand [m+NAP]	Vorige veiligheidstoets Waterstand [m+NAP]	Correctie [m]
As van de Eem			
Eem_contr_uitgebr_05	1.15	1.17	-0.01
Eem_contr_uitgebr_06	1.12	1.17	-0.05
Eem_contr_uitgebr_07	1.12	1.21	-0.09
Eem_contr_uitgebr_08	1.08	1.21	-0.13
Eem_contr_uitgebr_09	1.11	1.26	-0.15
Eem_contr_uitgebr_10	1.16	1.34	-0.18
Eem_contr_uitgebr_11	1.20	1.39	-0.20
Eem_contr_uitgebr_12	1.21	1.44	-0.23
Eem_contr_uitgebr_13	1.25	1.51	-0.26
Eem_contr_uitgebr_14	1.31	1.59	-0.29
Eem_contr_uitgebr_15	1.33	1.63	-0.30
Eem_contr_uitgebr_16	1.38	1.69	-0.31
Eem_contr_uitgebr_17	1.44	1.76	-0.32
Eem_contr_uitgebr_18	1.51	1.83	-0.31
Eem_contr_uitgebr_19	1.64	1.92	-0.28
Eem_contr_uitgebr_20	1.80	2.05	-0.25
Eem_contr_uitgebr_21	2.05	2.26	-0.21
Dijkring 45: Gelderse Vallei			
Eem_contr_uitgebr_22			
Eem_contr_uitgebr_23	0.60	0.87	-0.28
Eem_contr_uitgebr_24			
Eem_contr_uitgebr_25	1.12	1.21	-0.09
Eem_contr_uitgebr_26			
Eem_contr_uitgebr_27	1.13	1.28	-0.16
Eem_contr_uitgebr_28	1.18	1.36	-0.18
Eem_contr_uitgebr_29	1.21	1.42	-0.21
Eem_contr_uitgebr_30	1.23	1.48	-0.25
Eem_contr_uitgebr_31			
Eem_contr_uitgebr_32	1.32	1.60	-0.29
Eem_contr_uitgebr_33	1.34	1.65	-0.30
Eem_contr_uitgebr_34	1.43	1.73	-0.30
Eem_contr_uitgebr_35	1.51	1.82	-0.32
Eem_contr_uitgebr_36	1.61	1.90	-0.29
Eem_contr_uitgebr_37	1.78	2.03	-0.26
Eem_contr_uitgebr_38	2.01	2.23	-0.21
Westelijke oever Eem ten zuiden van A1			
Eem_contr_uitgebr_39			
Eem_contr_uitgebr_40			
Eem_contr_uitgebr_41	1.54	1.32	0.22
Eem_contr_uitgebr_42	1.39	1.21	0.18
Eem_contr_uitgebr_43	1.08	0.93	0.15
Eem_contr_uitgebr_44	1.41	1.29	0.11
Eem_contr_uitgebr_45	1.33	1.06	0.27
Eem_contr_uitgebr_46	0.77	0.47	0.30
Eem_contr_uitgebr_47	0.74	0.67	0.07

[1] Voor locaties waar geen waarden zijn gepresenteerd, geldt dat deze droog vallen in beide gevallen (correctie is niet noodzakelijk)

	Nieuwe veiligheidstoets[1] Waterstand [m+NAP]	Vorige veiligheidstoets Waterstand [m+NAP]	Correctie [m]
Eem_contr_uitgebr_48			
Dijkring 46: Eempolder			
Eem_contr_uitgebr_49			
Eem_contr_uitgebr_50			
Eem_contr_uitgebr_51			
Eem_contr_uitgebr_52			
Eem_contr_uitgebr_53	0.34	-0.06	0.40
Eem_contr_uitgebr_54	0.34	0.21	0.13
Eem_contr_uitgebr_55	0.33	0.04	0.29
Eem_contr_uitgebr_56	0.33	-0.16	0.49
Eem_contr_uitgebr_57	0.32	-0.51	0.84
Eem_contr_uitgebr_58	0.32	-0.37	0.69
Eem_contr_uitgebr_59			
Eem_contr_uitgebr_60			
Eem_contr_uitgebr_61	0.56	0.07	0.49

BIJLAGE IV Hydraulische berekeningen, oplossend vermogen van de maatregelen

Witteveen+Bos

water
infrastructuur
milieu
bouw

notitie

Witteveen+Bos
Heemraadssingel 319
postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
telefoon 010 244 28 00
telefax 010 244 28 88

onderwerp	WAQUA berekeningen, oplossend vermogen van de maatregelen
project	MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren
opdrachtgever	Waterschap Vallei en Eem
projectcode	LEU36-1
referentie	LEU36-1/doea/058
opgemaakt door	ir. R. Zijlstra / mevrouw ir. S.J. Ouwerkerk / ir. T. Wilms
goedgekeurd door	ir. A.J. Smale paraaf
status	definitief
datum opmaak	27 oktober 2006

1. INLEIDING

1.1. Projectbeschrijving

Waterschap Vallei en Eem, Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht en Rijkswaterstaat IJsselmeergebied zijn voornemens maatregelen te nemen om de veiligheid van de binnendijkse gebieden langs de Zuidelijke Randmeren op het wettelijke vereiste peil te brengen.

Afbeelding 1.1. laat een overzicht van het projectgebied zien. Het kaartje betreft een originele Hydra-M afbeelding, waaraan de Eemvallei apart is toegevoegd (WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005). Hydra-M is een rekenmodel voor het toetsen van de kerende hoogte van waterkeringen in het IJsselmeer, Markermeer, Ketelmeer en Vossemeer.

Afbeelding 1.1. Overzicht Zuidelijke Randmeren

1.2. MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren

In het kader van fase 1 van het project MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren, dient een veiligheidstoets te worden uitgevoerd. De veiligheidstoets in fase 1 is opgebouwd uit de volgende stappen:

- bepalen maatgevende combinatie per faalmechanisme (illustratiepunt);
- bepalen waterstanden voor illustratiepunt;
- bepalen golfhoogte en perioden;
- toets van de waterkering.

Deze notitie beschrijft de resultaten van de tweede stap. Voor het bepalen van de maximale waterstanden zijn berekeningen gedaan met het 2-dimensionale stromingsmodel WAQUA. Dit stromingsmodel bepaalt de stroomsnelheden en waterstanden op basis van beschikbare bodemligging, bodemruwheid en relevante objecten.

In deze notitie worden de effecten van een aantal maatregelen (§1.3.) op de maximale hoogwaterstanden beschouwd. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de WAQUA / Baseline schematisatie welke ook gebruikt is voor het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (hierna HR2006). Met het WAQUA model is voor het Markermeer, de aanliggende randmeren en de Eemvallei tot aan Amersfoort, de waterbeweging tijdens een gegeven maatgevende storm bepaald.

1.3. Alternatieven

In het kader van het project MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren wordt een aantal alternatieven beschouwd om de veiligheid van de randmeren te verbeteren (DHV, 2005). Het betreft de volgende hoofdmaatregelen:

- dijkverbetering;
- beweegbare kering bij de Hollandse Brug;
- beweegbare kering bij de Stichtse Brug;
- keersluis in de Eemmond.

Daarnaast zijn aanvullende maatregelen, die afzonderlijk een klein effect hebben, geselecteerd om onderzocht te worden in combinatie met de hoofdmaatregelen:

- water aflaten naar de Oostelijke Randmeren (Nijkerkernauw en Wolderwijd);
- aanleggen van weerstandsverhogende eilanden bij Almere;
- aanleggen weerstandsgeul bij de Hollandse Brug;
- aanleggen weerstandsgeul bij de Stichtse Brug.

Hierbij dient te worden opgemerkt, dat naast elk van de maatregelen en aanvullende maatregelen waarschijnlijk nog (beperkte) dijkverbetering benodigd is.

1.4. Leeswijzer

In deze notitie zijn de resultaten gepresenteerd van de berekeningen, die zijn uitgevoerd met het 2-dimensionale stromingsmodel WAQUA. De indeling van de notitie is als volgt: in hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten van de WAQUA berekeningen opgenomen. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de verschillende beschouwde maatregelen en de implementatie van de maatregelen in het model. De resultaten van de berekeningen worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 sluit af met de conclusies en aanbevelingen.

2. UITGANGSPUNTEN WAQUA-BEREKENINGEN

2.1. Inleiding

Voor de berekeningen van de maximale waterstanden is gebruik gemaakt van de WAQUA-schematisatie, die eveneens gebruikt is voor de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (HR2006). Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte modelschematisatie wordt verwezen naar WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos (2005). Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de maatgevende stormsituatie (§2.2.); daarnaast is de bepaling van het gebruikte illustratiepunt weergegeven (§2.3.).

2.2. Beschrijving stormschematisatie

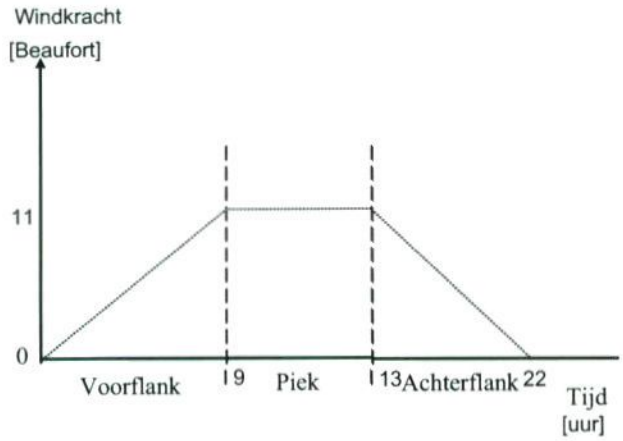
De beschrijving van de stormschematisatie in de tijd bestaat uit drie karakteristieken: (i) verloop windsnelheid, (ii) verloop windrichting en (iii) stormduur. In Waterloopkundig Laboratorium (1997) is uitvoerig ingegaan op verschillende beschrijvingen van stormschematisaties. De onderzoeken zijn gebaseerd op statistische analyses van gemeten stormen.

Het Waterloopkundig Laboratorium (1981) heeft bijvoorbeeld verschillende gemeten stormtypen geëvalueerd. Uit de evaluatie bleek dat een storm met een trapeziumvormig verloop het gevaarlijkst is voor het bepalen van maatgevend waterstanden vanwege het aanhouden van de maximale windsnelheid. Daarnaast heeft RIZA (1987) een analyse gedaan van de waterstanden in het benedenrivierengebied, resulterende in een duur van de stormpiek van 4 uur.

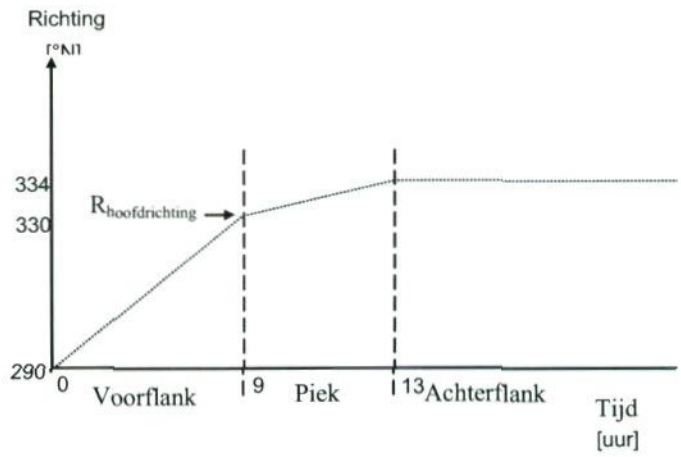
Voor de onderhavige studie is uitgegaan van de stormschematisatie uit WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos (2005). Het verloop van de maatgevende storm heeft een trapeziumvorm met een totale duur van 22 uur (zie afbeelding 2.1a.). Tijdens de voorflank neemt de windsnelheid gedurende 9 uur lineair toe van windkracht 0 naar de maximale windsnelheid (windkracht 11). Vervolgens blijft de wind gedurende een periode van 4 uur constant, waarna de windsnelheid tijdens de achterflank weer afneemt van de maximale windsnelheid naar windkracht 0.

Het verloop van de windrichting in de tijd is gespecificeerd in °/uur en de windrichting op t=0 is zodanig gekozen dat de windrichting aan het eind van de voorflank gelijk is aan de hoofdrichting (zie afbeelding 3.1b.).

Afbeelding 2.1a. Verloop van de windsnelheid



Afbeelding 2.1b. Variatie van de windrichting in tijd



De gedetailleerde instellingen van de stormschematisatie zijn weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Instellingen HR2006

stormeigenschap	HR2006	
voorflank	duur	9 uur
	winddraaiing	39,6°
	interpolatie winddraaiing	graden
	start windsnelheid	0 m/s
	eindwindsnelheid	piekwind
piek	duur	4 uur
	winddraaiing	4,4°
	interpolatie winddraaiing	graden
	start windsnelheid	piekwind
	eindwindsnelheid	piekwind
achterflank	duur	9 uur
	winddraaiing	0°
	interpolatie winddraaiing	graden
	start windsnelheid	piekwind
	eindwindsnelheid	0 m/s
windsnelheid	ruimtelijke verdeling	lineair Hollandse Brug naar Nijkerk
	transformatie U_p -> U_{ow}	Hydra-B

2.3. Illustratiepunt

De maatgevende omstandigheden bestaan uit een combinatie van meerpeil, windsnelheid en windrichting, resulterend in een maatgevende waterstand en golfhoogte. Er zijn in principe oneindig veel combinaties van meerpeil en wind mogelijk.

Ter bepaling van de HR2006 zijn berekeningen gemaakt voor 216 combinaties van meerpeil, windsnelheid en windrichting (WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005). Bij het ontwerp van een waterkering zijn afhankelijk van het beschouwde ontwerpcriterium verschillende combinaties maatgevend. Om in deze fase van de MER rekentijd te besparen zijn de WAQUA berekeningen hier voor slechts één combinatie gemaakt. De berekende combinatie is gemaakt voor het zogenaamde illustratiepunt. Hydra-M omschrijft dit punt als volgt:

'*Het doel van het illustratiepunt is om een indicatie te geven van de meest waarschijnlijke hydraulische omstandigheden vóór de dijk (waterstanden en golfkarakteristieken), die optreden indien het maatgevend hydraulisch belastingniveau optreedt. Omdat het maatgevend hydraulisch belastingniveau afhankelijk is van de voor de berekening ingestelde illustratiepuntfrequentie, is ook het illustratiepunt hiervan afhankelijk. Bij toepassing van de veiligheidsnorm behorende bij een dijkvak als illustratiepuntfrequentie, bevat het illustratiepunt dus de meest waarschijnlijke waterstand, significante golfhoogte, piekperiode en golfrichting onder maatgevende omstandigheden.*'

Met Hydra-M (HR2001) is voor de volgende tien locaties langs de Zuidelijke Randmeren het huidige illustratiepunt bepaald: dp4.8 Nijkerkersluis, dp7.3 Wielse Sluis, dp9.1 Nekkeveld, dp10.7 Oostdijk, dp12.1 Spakenburg, dp14.8 Oude Pol, EM Eemmond, GG Gooijergracht, gav4 Oostdijk fabriek en gav3 Naarden vesting). Hierbij is gekeken naar drie ontwerpcriteria: waterstand, 2 % golfoverslag en golfoverslag van 1 l/s/m.

Voor elk van de locaties geldt, dat het illustratiepunt overeenkomt met een meerpeil van NAP –0,35 m. De windsnelheid en -richting varieerde per ontwerpcriterium en per locatie tussen 330° NNW met een windsnelheid u = 27 m/s en 300° NNW met u = 33 m/s. Voor de meeste locaties (8 van de 10) komt het illustratiepunt overeen met een windrichting van 300°N.

De resultaten zijn vervolgens vergeleken met de berekeningen, die gedaan zijn voor HR2006. Hieruit blijkt, dat deze omstandigheden het beste overeenkomen met de berekening 'Mp1u33_300' van de HR2006. Dit is de berekening met een meerpeil van NAP –0,40 m en een windsnelheid u = 33 m/s uit de richting 300° NNW (zie paragraaf 2.2.). Opgemerkt dient te worden dat het hier om de potentiële windsnelheid bij Schiphol gaat. Deze windsnelheid is vervolgens vertaald naar de open water windsnelheid boven het onderzoeksgebied (zie hoofdrapportage WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005).

In deze notitie is derhalve gebruik gemaakt van de berekening 'Mp1u33_300' voor het vergelijken van de verschillende alternatieven.

3. BESCHOUWDE ALTERNATIEVEN

3.1. Inleiding

Om de veiligheid van de binnendijkse gebieden langs de Zuidelijke Randmeren op het wettelijke vereiste peil te brengen, zijn verschillende oplossingsrichtingen mogelijk. In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de beschouwde alternatieven (§3.2). Daarnaast is aangegeven hoe de verschillende maatregelen zijn opgenomen in de modelschematisatie.

3.2. Alternatieven

In deze notitie zijn de effecten van (combinaties van) maatregelen onderzocht (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1. beschouwde maatregelen

nr		hoofdmaatregel	aflaten water Randmeren	eilanden Almere	weerstandsgeul Hollandse Brug	weerstandsgeul Stichtse Brug
000	**X**	**nulalternatief**				
001	**X**	**kering Hollandse brug**				
002	**X**	**kering Stichtse brug**				
003	**X**	**kering Eemmond**				
004	**X**	**nulalternatief**			**X**	
005	**X**	**nulalternatief**				**X**
006	**X**	**nulalternatief**			**X**	**X**
007	**X**	**kering Hollandse brug**				**X**
008	**X**	**kering Stichtse brug**			**X**	
009	**X**	**kering Eemmond**			**X**	**X**
010	**X**	**nulalternatief**	**X**			
011		kering Hollandse brug	X			
012		kering Stichtse brug	X			
013		kering Eemmond	X			
014		nulalternatief	X		X	
015		nulalternatief	X			X
016	**X**	**combi-nulalternatief**	**X**		**X**	**X**
017		kering Hollandse brug	X			X
018		kering Stichtse brug	X		X	
019	**X**	**kering Eemmond**	**X**		**X**	**X**
020	**X**	**nulalternatief**		**X**		
021		kering Hollandse brug		X		
022	**X**	**kering Stichtse brug**		**X**		
023		kering Eemmond		X		
024		combi-nulalternatief		X	X	
025		combi-nulalternatief		X		X
026	**X**	**combi-nulalternatief**		**X**	**X**	**X**
027		kering Hollandse brug		X		X
028		kering Stichtse brug		X	X	
029		kering Eemmond		X	X	X
030	**X**	**combi-nulalternatief**	**X**	**X**		
031		kering Hollandse brug	X	X		
032		kering Stichtse brug	X	X		
033	**X**	**kering Eemmond**	**X**	**X**		
034	**X**	**combi-nulalternatief**	**X**	**X**	**X**	
035		combi-nulalternatief	X	X		X
036		combi-nulalternatief	X	X	X	X
037		kering Hollandse brug	X	X		X
038		kering Stichtse brug	X	X	X	
039		kering Eemmond	X	X	X	X

Aangezien deze fase van de MER tot doel heeft de effectiviteit van de maatregelen globaal in kaart te brengen, is het niet nodig elk van de alternatieven door te rekenen. Om rekentijd en verwerkingstijd te besparen, is derhalve een selectie gemaakt uit de alternatieven, die worden doorgerekend.

Met een 'X' achter het nummer is aangegeven welke (combinaties van) maatregelen zijn doorgerekend. Het effect van alle maatregelen afzonderlijk (hoofd- of aanvullende maatregelen) is onderzocht. Daarnaast zijn de verschillende combinaties van 'kering' en 'weerstandsgeul' onderzocht (berekeningen 007, 008 en 009).

Het toevoegend effect van de aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere' is bekeken in combinatie met zowel de kering bij de Stichtse Brug als de kering Eemmond (berekeningen: 016, 019, 022, 026, 033 en 034). Dit toevoegend effect is niet bekeken in combinatie met de Hollandse Brug, aangezien het aanleggen van een kering bij de Hollandse Brug een opstuwend effect op het Markermeer tot gevolg heeft en bovendien het implementeren van een maatregel achter de kering weinig effect heeft.

3.3. Modelschematisatie

Om het effect van de maatregelen uit §3.2 te onderzoeken, is het originele HR2006 WAQUA model aangepast. In deze paragraaf is weergegeven hoe de verschillende maatregelen in het model zijn geïmplementeerd.

3.3.1. Keringen Hollandse brug, Stichtse brug en Eemmond

Keringen zijn in WAQUA geschematiseerd als zogenaamde 'barriers'. Barriers zijn stuwen of keringen, die als functie van tijd of waterstand gestuurd kunnen worden. De afmetingen van de stuw (breedte, bodemligging en kleppositie) kunnen worden ingesteld. Er is hier gekozen voor een vaste breedte en bodemligging met een afsluitbare klep.

De stuw afmetingen voor Stichtse en Hollandse brug zijn geschat op basis van HKV/Haskoning (2003). Een kering in de Eem is niet eerder beschouwd en de afmetingen hiervan zijn gebaseerd op aannamen. De doorstroomopening is iets kleiner dan de breedte van de rivier en de globaal laagste bodemligging van de Eem is als drempelhoogte genomen.

De sturing voor de keringen is eenvoudig gehouden. Sluitregimes van primaire waterkeringen (zoals de Maeslantkering of de kering bij Ramspol) worden bepaald door combinaties van voorspelde waterstanden, windsnelheden en windrichtingen. Deze voorspellingen zijn niet in de huidige beschouwing meegenomen. In de huidige beschouwing is uitgegaan van een sluitregime, waarbij de keringen worden gesloten bij een bepaalde lokale waterstand (zie tabel 3.1.). Deze waterstand treedt op aan het begin van de maatgevende storm. Het gekozen sluitregime (een vroege sluiting) realiseert een maximale reductie van de opwaaiing. Hiermee wordt derhalve het maximale oplossend vermogen van de maatregel in kaart gebracht. In deze fase is nog geen rekening gehouden met de technisch haalbare sluitsnelheid van de kering. De belangrijkste eigenschappen van de keringen zijn samengevat in tabel 3.1.

Tabel 3.1. Eigenschappen keringen

kering	doorstroomopening	niveau drempel [NAP + m]	lokaal sluit-/openingspeil [NAP + m]
Hollandse Brug	ca. 3 × 50 m^2	NAP -5,0 m	NAP - 0,1 m
Stichtse Brug	ca. 3 × 50 m^2	NAP -5,0 m	NAP + 0,2 m
Eemmond	ca. 50 m	NAP –4,0 m*	NAP + 0,2 m**

* niet overeen komend met bodempeil, maar verwacht wordt dat deze keuze geen significant effect heeft op berekening maximale waterstanden

** peil ter plaatse van monding Eem (ca. 600 meter voor de kering)

Voor de kering bij de Hollandse Brug geldt dat een deel van de doorstroomopening onder de brug permanent dient te worden afgesloten met een vaste waterkering (damwand of dijk) om de lengte van de beweegbare delen van de kering beperkt te houden. In de WAQUA schematisatie is deze vaste kering geschematiseerd door middel van een aantal verticale schotjes.

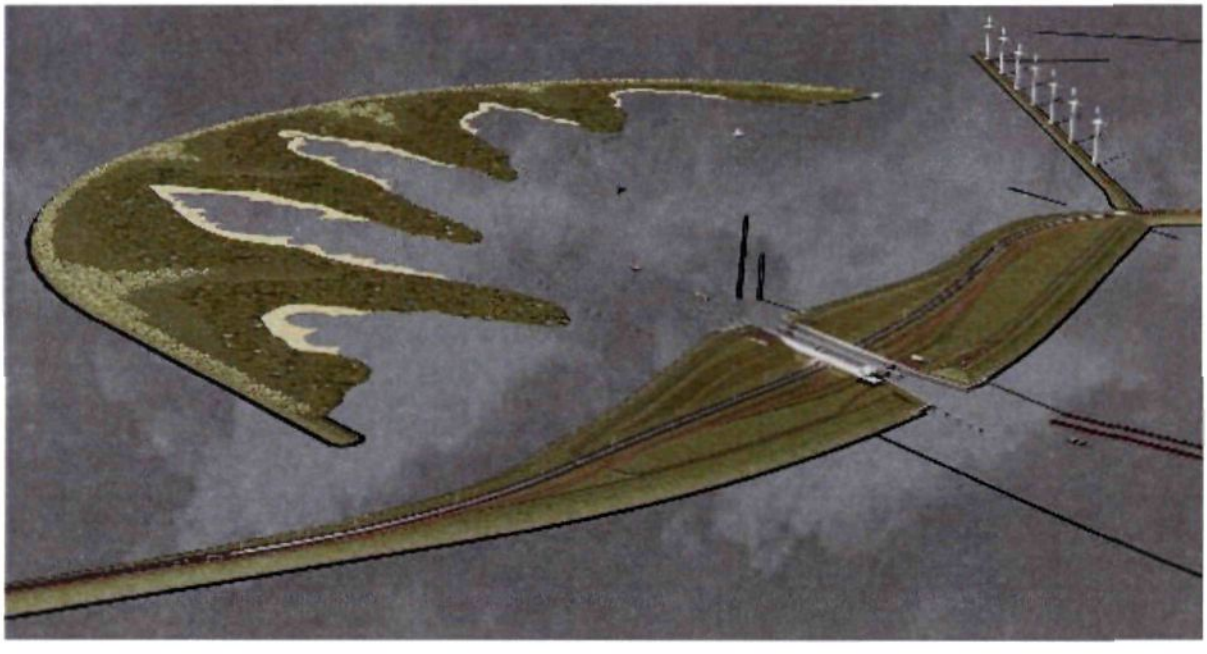
Voor de kering bij Eemmond geldt dat een aantal verticale schotjes in de schematisatie zijn opgenomen om de kering in de schematisatie 'waterdicht' te maken. De schotjes verbinden de kering met de primaire waterkeringen in het model.

Tot slot dient te worden opgemerkt dat de kering gesloten blijft bij een negatief waterstandsverschil ($H_{Eem} > H_{Eemmeer}$). De verwachting is dat het effect van deze aanname op het oplossend vermogen van deze maatregel niet significant is.

3.3.2. Weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug

Een weerstandsgeul is een kunstmatige plaatselijke versmalling tussen watersysteemdelen met een grote hydraulische weerstand, waardoor de stroomsnelheid in deze weerstandgeul beperkt wordt gehouden. Qua vormgeving is een weerstandsgeul gelijk aan een naviduct (zonder sluisdeuren). Een naviduct is een combinatie van een viaduct en een aquaduct; een sluis waar een verkeersweg dwars onderdoor gaat (afbeelding 3.1. – naviduct bij Enkhuizen).

Afbeelding 3.1. (http://home.planet.nl/~HETTIEW/Leisureweb/images/NAVI2.JPG)



Weerstandsgeulen zijn in de WAQUA-schematisatie opgenomen als rekenpunten met verhoogde bodemruwheid. Het principe van een weerstandgeul is als volgt: verhoog de weerstand voor het water en bij een gelijk blijvend verval is de afvoer door deze doorsnede lager. Omdat de hoge waterstanden op het Markermeer slechts een beperkte tijd aanhouden zal het in de randmeren toegestroomde debiet door aanleg van weerstandsgeulen afnemen. Hiermee reduceren de maatgevende hoogwaterstanden. Weerstandsgeulen zijn het meest effectief op plaatsen waar de doorstroomopening relatief klein is en (dus) de stroomsnelheden vrij hoog (orde 0,5 m/s en hoger). Voor de Zuidelijke Randmeren lenen de locaties Hollandse brug en Stichtse brug zich goed voor deze ingreep.

In WAQUA kan per rekenpunt de ruwheid opgegeven worden. De geïmplementeerde geulen bij de Hollandse Brug en de Stichtse Brug zijn relatief groot en hebben een relatief hoge ruwheid. Deze schematisatie resulteert dan ook in een bovengrens van reductie in maatgevende hoogwaterstanden, die technisch haalbaar is met een weerstandsgeul. Omdat de weerstandsgeul alleen per rekenpunt aan

of uitgezet kan worden, zijn de afmetingen van de weerstandsgeulen gekoppeld aan de roosterafmetingen van het WAQUA model (veelvoud van circa 30 à 40 meter). Derhalve verschilt de breedte van de weerstandsgeul per locatie (zie tabel 3.2).

Tabel 3.2 Eigenschappen weerstandsgeulen

weerstandsgeul	lengte × breedte	oppervlak [m^2]
Hollandse Brug	ca. 780 × 180 m^2	145.000
Stichtse Brug	ca. 720 × 220 m^2	159.000

De ruwheidcoëfficiënt in de schematisatie is gekozen op: n = 2,5 (formulering Nikuradse), hetgeen overeenkomt met een Chézy ruwheid van circa 25-30 $m^{1/2}/s$ bij een waterdiepte van 5 m. (Ter indicatie: de standaard ruwheid in Waqua bedraagt circa 50 $m^{1/2}/s$ bij een waterdiepte van 5 m).

3.3.3. Aflaten water op Oostelijke Randmeren

Bij Nijkerk zijn de Zuidelijke Randmeren verbonden met de Oostelijke Randmeren (Nuldernauw, Wolderwijd en uiteindelijk het Veluwemeer). Door tijdens maatgevende omstandigheden water te lozen op deze meren (dit kan waarschijnlijk via de bestaande schut- en spuisluizen) kunnen de maximale waterstanden op de Zuidelijke Randmeren verlaagd worden.

Het Nuldernauw en Wolderwijd hebben een totale gezamenlijke oppervlakte van 2650ha. (bron: http://www.shallowlakes.net/platform-ehm/meren/m_rd_ij.html). Het winterpeil op deze meren bedraagt NAP –0,3 m. Er is vanuit gegaan dat het toelaatbaar is om tijdelijk water te bergen tot een peil van NAP +0,1 m.

Totaal kan in deze situatie ruim 10 miljoen m^3 geborgen worden (overeenkomend met een peilstijging van circa 40 cm). In werkelijkheid kan het water doorstromen naar het Veluwemeer en is wellicht meer berging mogelijk. De doorstroomopening is echter beperkt en het is de vraag of bij het beschikbare verval zoveel water in relatief korte tijd kan worden doorgelaten. Daarnaast heeft de storm ook effect op het Nuldernauw en het Wolderwijd. Voor een meer gedetailleerde uitwerking van de maatregelen dienen deze en andere neveneffecten nader in beeld te worden gebracht.

De hoogste waterstand bij de Nijkerkersluis treedt in de referentiesituatie circa 13,5 uur na aanvang van de storm op. Het aflaten van 10 miljoen m^3 water kan niet momentaan plaatsvinden. Het aflaten van water begint op 6 uur na aanvang van de storm en loopt door tot 16 uur na aanvang van de storm. In deze 10 uur wordt 250 m^3/s afgelaten door de Nijkerkersluizen (totaal 900.000 m3, hetgeen overeenkomt met een peilstijging van circa 4 cm).

3.3.4. Eilanden Almere

Van deze aanvullende maatregel is geen detailinformatie bekend (ten aanzien van grootte, aantal en exacte ligging). Er dient hierbij te worden opgemerkt dat de ligging niet overeenstemt met de huidige gedachten voortkomende uit het project 'IJsselmeer zoekt verdieping in het kader van WINN'. Met de huidige locatie van de eilanden (afbeelding 4.12.) wordt echter het maximaal realiseerbare oplossend vermogen in kaart gebracht.

De maatregel is in WAQUA opgenomen door een relatief groot aantal eilanden ter grootte van één rekencel te creëren in de vorm van verticale schotjes. Hierdoor zijn deze punten niet meer actief in de berekening.

4. RESULTATEN BEREKENINGEN

4.1. Inleiding

Het effect van verschillende maatregelen en combinaties van maatregelen (hoofdstuk 3) op de maatgevende hoogwaterstanden is onderzocht.

De waterstanden, die volgen uit de verschillende berekeningen, zijn vergeleken aan de hand van maximale waterstandsvelden. Voor elke afzonderlijke rekenlocatie wordt voor de gehele berekende storm de hoogste bereikte waterstand bepaald, hetgeen betekent dat de gepresenteerde maximale waterstandsvelden niet voor elke locatie hetzelfde tijdstip representeren. Voor locaties met afwaaiing treedt de maximale waterstand bijvoorbeeld direct op t = 0 op, omdat de waterstand daalt als de storm sterker wordt. Voor locaties met opwaaiing zal de hoogste waterstand in principe optreden rond of juist na het hoogtepunt van de storm.

Door deze tijdsverschillen ontstaan soms afbeeldingen, die in eerste instantie onverwachte resultaten geven, echter door het tijdseffect in beschouwing te nemen blijkt het resultaat toch correct. Met uitzondering van de eerste berekeningen (Afbeelding 4.1.) zijn alle maatregelen gepresenteerd als het verschil in maximale opwaaiing (de hoogste waterstand) tussen de berekening en de referentieberekening (nulalternatief). De kleur groen betekent dat de maatregel op deze locatie geen verschil in maximale waterstanden veroorzaakt (ten opzichte van de referentiesituatie). De kleur blauw geeft een reductie van de maximale waterstanden als gevolg van de maatregel weer en rood betekent een toename van de maximale waterstanden als gevolg van de maatregel.

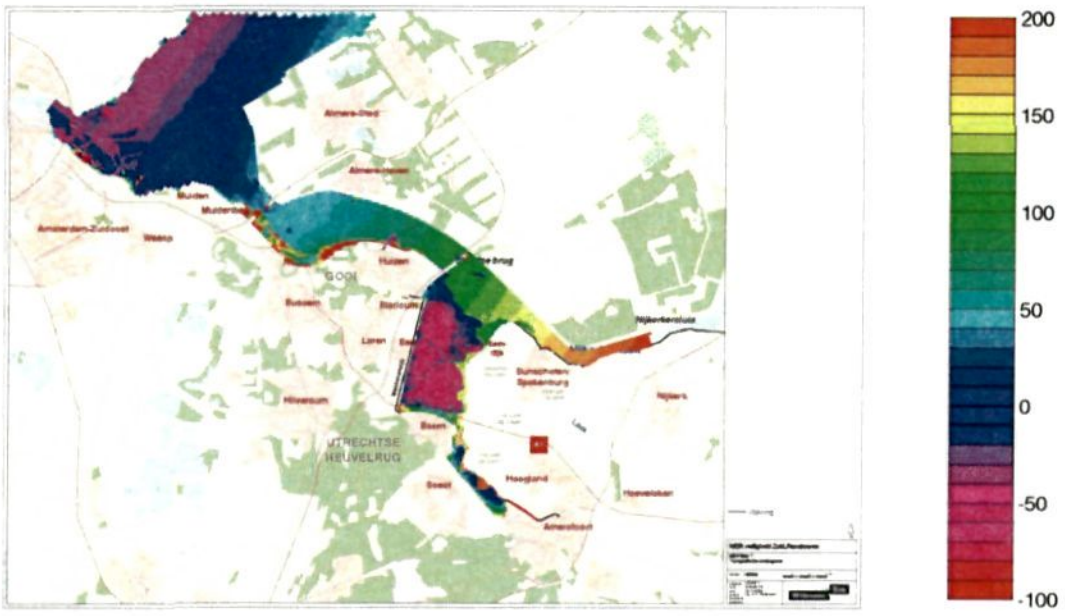
Per maatregel wordt in een afbeelding weergegeven wat het effect is op de maximale waterstand op de as van de Eem. De locaties zijn weergegeven in Bijlage 1 en de waarden waarop de grafieken zijn gebaseerd, staan in Bijlage II.

4.2. Berekening 000: nulalternatief

In de invoer van de WAQUA schematisatie zijn de verschillende maatregelen geïmplementeerd. Om de geldigheid van het aangepaste model te toetsen, is het nulalternatief (waarbij de aanpassingen zijn uitgezet) vergeleken met de overeenkomstige berekening uit de HR2006 (zie afbeelding 4.1.).

Uit de resultaten blijkt dat de resultaten van beide berekeningen gelijk zijn. Hiermee is de consistentie met HR2006 aangetoond en blijkt dat door het aanpassen van de schematisatie in de referentieberekening geen verschillen optreden.

Afbeelding 4.1a. Maximale waterstanden [NAP + cm] nulalternatief en verschil [cm] met HR2006



Afbeelding 4.1b. Verschil [cm] met HR2006

4.3. Berekening 001: kering Hollandse brug

In de berekening 001 is bij de Hollandse brug een kering geplaatst. Het effect van de aanwezigheid van deze kering is weergegeven in afbeelding 4.2.

Zoals verwacht zijn de waterstanden ten oosten van de kering lager dan in de situatie zonder kering. Afhankelijk van de locatie loopt dit verschil op tot meer dan 50 cm. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het effect van de kering mede wordt bepaald door het sluitpeil (het huidige sluitpeil is: NAP -0,1 m direct ten westen van de kering). Dit betekent dat een ander sluitpeil kan leiden tot andere waterstanden.

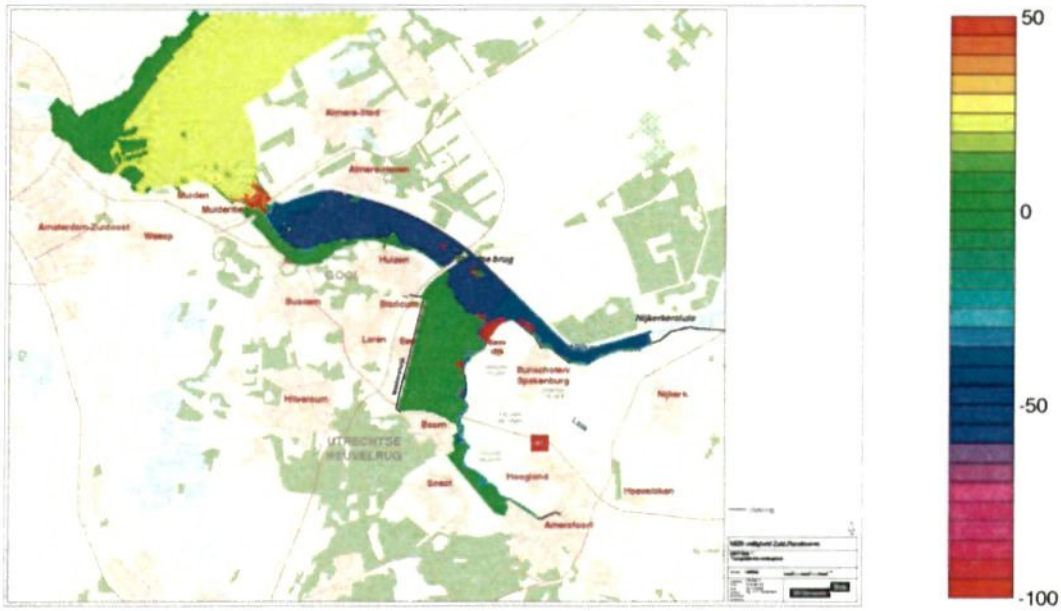
Direct ten westen van de kering treden hogere waterstanden op als gevolg van opstuwingseffecten. De waterstanden zijn maximaal 0,5 m hoger dan de waterstanden in de referentiesituatie. De waterstandverhogingen (over het algemeen kleiner dan 10 cm) zijn merkbaar op een relatief groot deel (circa tweederde) van het Markermeer. Voor dijkringgebieden als IJburg, Flevoland en het noordelijk deel van de Kromme Rijn bestaat het risico dat locaties die in de huidige situatie juist voldoen, niet meer voldoen bij aanleg van een kering bij de Hollandse Brug. De aanleg van een kering kan hierdoor leiden tot extra maatregelen elders, hetgeen mogelijk hoge kosten met zich meebrengt.

De Zuidelijke Randmeren blijven in deze maatregel één reservoir, waarbinnen ondanks een lagere waterstand nog aanzienlijke opwaaiing optreedt. Het waterstandverlagend effect van de maatregel is bij Nijkerk hierdoor iets kleiner dan de gemiddelde waterstandverlaging in het gebied (circa 35 cm). Ook bovenstrooms op de Eem is het effect iets kleiner.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat er in de berekeningen vanuit is gegaan dat de keringen onfaalbaar zijn (de kering gaat dus altijd dicht als het moet). Bij een volledig stochastische benadering dient het falen van de kering echter meegenomen te worden. Dit zal waarschijnlijk leiden tot een illustratiepunt met een hogere waterstand dan een onfaalbare kering. Dit verdient nader onderzoek.

Tot slot dient te worden opgemerkt dat verwacht wordt dat de variatie van het sluitregime een effect heeft van circa 30 cm op de maximaal berekende hoogwaterstanden (RIZA-WRV, 2005).

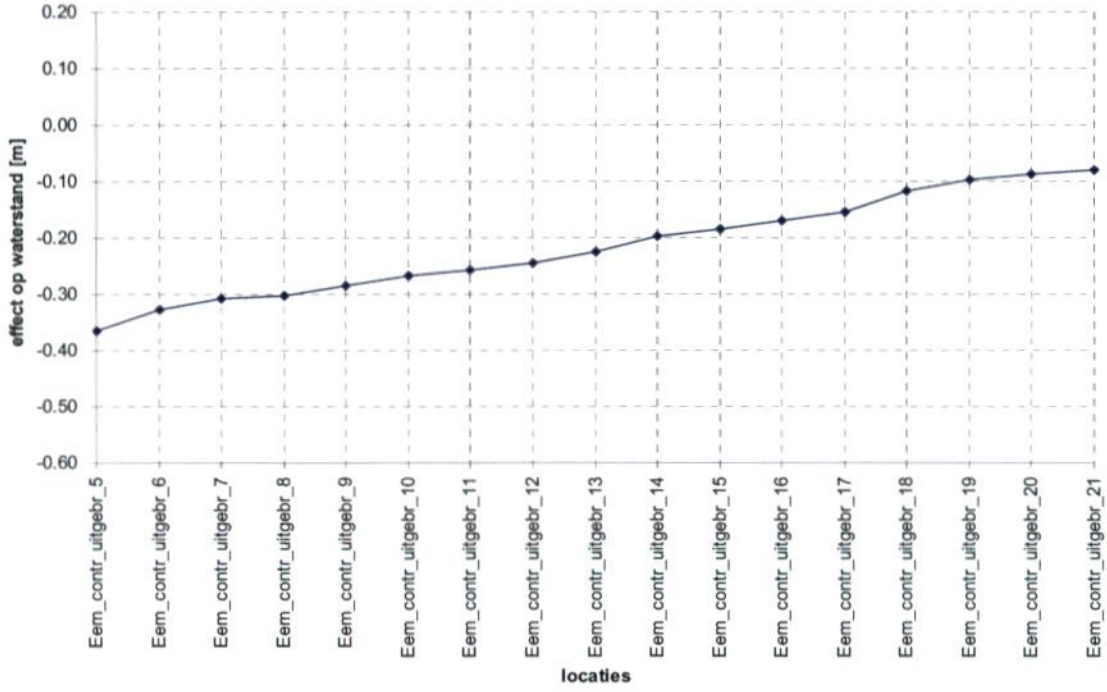
Afbeelding 4.2. Resultaat kering Hollandse brug



De berekende waterstandsverlagingen in het Gooi- en Eemmeer (circa 35 à 40 cm) zijn minder dan de waterstandsverlagingen berekend in $HKV_{\underline{LIJN\ IN\ WATER}}$/Royal Haskoning (2003), waar een waterstandsverlaging van 0,5 tot 0,8 meter is berekend. Dit verschil kan worden verklaard door het toepassen van een andere modelschematisatie, een andere maatgevende stormsituatie en een ander sluitregime.

Het effect van de maatregel op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.3. Voor de locatie Eem_contr_uitgebr_5 (aan de benedenstroomse zijde van de Eem) geldt een waterstandsverlaging van circa 35 cm ten opzichte van de situatie zonder kering bij de Hollandse Brug. Het waterstandsverlagend effect neemt af richting de meer bovenstrooms gelegen locaties op de Eem.

Afbeelding 4.3. Effect van kering Hollandse brug op maximale waterstand langs as Eem



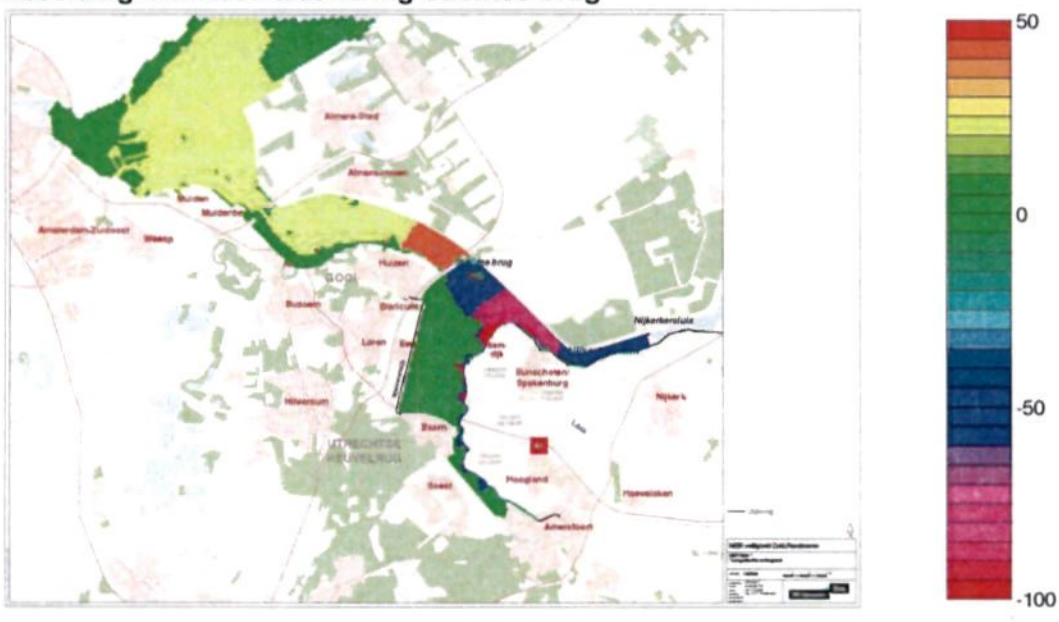
4.4. Berekening 002: kering Stichtse brug

In de berekening 002 is ter plaatse van de Stichtse Brug een kering geplaatst. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in afbeelding 4.4.

Uit afbeelding 4.4. blijkt, dat de kering bij de Stichtse brug resulteert in een aanzienlijke daling van de waterstanden op het Eemmeer en het Nijkerkernauw (tot 60 à 70 cm). Ook voor de Eem zijn de waterstanden lager dan in de referentieberekeningen (circa 50 cm).

De kering veroorzaakt hogere waterstanden op het Gooimeer (10 à 20 cm); dit verschijnsel kan worden toegeschreven aan opstuwingseffecten.

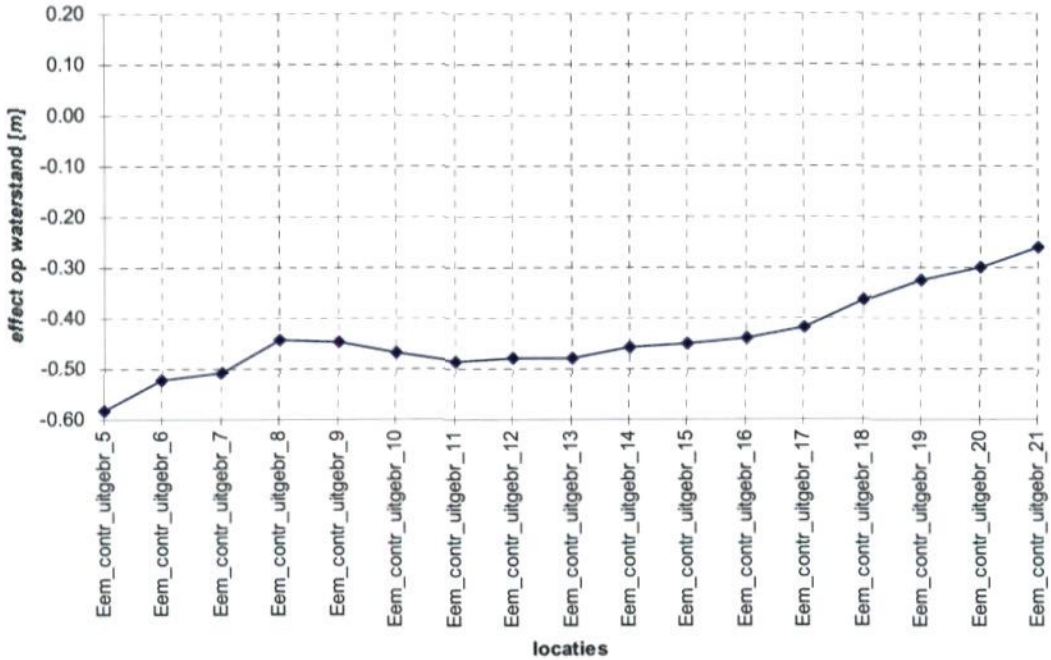
Afbeelding 4.4. Resultaat kering Stichtse brug



De berekende waterstandensverlagingen in het Eemmeer (tot 60 à 70 cm) zijn iets lager dan de waterstandsverlagingen berekend in $HKV_{\underline{LIJN\ IN\ WATER}}$/Royal Haskoning (2003), waar een waterstandsverlaging tot 1,0 meter is berekend. Dit verschil kan worden verklaard door het toepassen van een andere modelschematisatie, een andere maatgevende stormsituatie en een ander sluitregime.

Het effect van de maatregel op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.5. De waterstand ter plaatse van de monding van de Eem (Eem_contr_uitgebr_5) is circa 60 cm lager dan in de situatie waarbij geen kering bij de Hollandse Brug aanwezig is. Ter plaatse van de locaties Eem_contr_uitgebr_8 en 9 is het waterstandsverlagend effect iets geringer; deze afname van het effect kan waarschijnlijk worden verklaard door het lokaal optreden van opwaaiing op deze locaties.

Afbeelding 4.5. Effect van kering Stichtse brug op maximale waterstand langs as Eem



4.5. Berekening 003: kering Eemmond

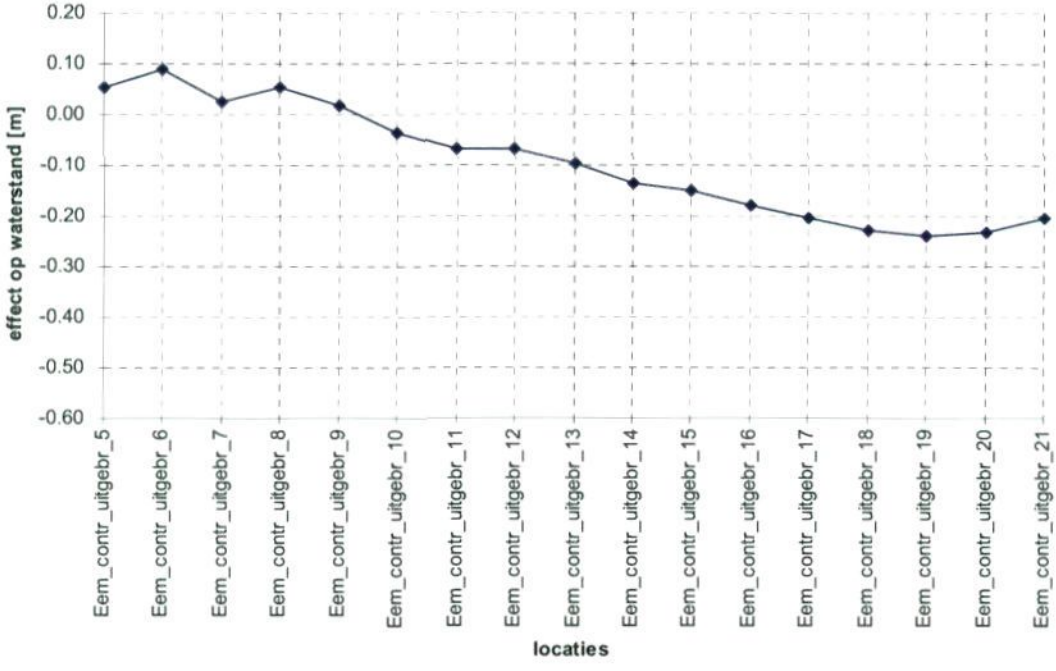
In de berekening 003 is een keersluis geplaatst bij de monding van de Eem (Eemmond). De resultaten van de berekening zijn weergegeven in afbeelding 4.6.

De kering bij de Eemmond heeft alleen effect op de waterstanden op de Eem. Afbeelding 4.6. laat zien, dat de kering resulteert in lagere waterstanden op het bovenstroomse gedeelte van de Eem (circa 10 à 20 cm). De afvoer van de Eem (75 m^3/s) wordt echter geblokkeerd door de gesloten kering (de duur van de blokkering wordt bepaald door de waterstanden op het Eemmeer), waardoor een benedenstrooms laaggelegen gebied onder water loopt, terwijl dat in de referentiesituatie niet gebeurt.

Afbeelding 4.6. Resultaat kering Eemmond

Het effect van de maatregel op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.7. De verhoging van de waterstand aan de benedenstroomse zijde van de Eem wordt veroorzaakt door het blokkeren van de Eemafvoer door de gesloten kering. Bovenstrooms treedt een verlaging van de waterstand op als gevolg van het onder water lopen van benedenstrooms laaggelegen gebied.

Afbeelding 4.7. Effect van kering Eemmond op maximale waterstand langs as Eem



4.6. Berekening 004: weerstandsgeul Hollandse brug

In de berekening 004 is het effect van een weerstandsgeul bij de Hollandse Brug beschouwd. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in afbeelding 4.8.

Afbeelding 4.8. laat zien dat de waterstandsverlaging op het Gooimeer en het Eemmeer, als gevolg van de aanleg van de weerstandsgeul, maximaal 0,15 m bedraagt (met uitzondering van twee polders die net niet onder water lopen, waardoor het effect groter is). Doordat de weerstandsgeul de toestroom van water naar de Zuidelijke Randmeren niet volledig blokkeert, zijn er in afbeelding 4.5. geen significante opstuwingseffecten voor de geul waar te nemen, waardoor nergens waterstandsverhogingen optreden. Dit komt door het gebruik van de kleurenafbeelding, waarbij aan elke 10 cm waterstandsverschil een andere kleur is toegekend.

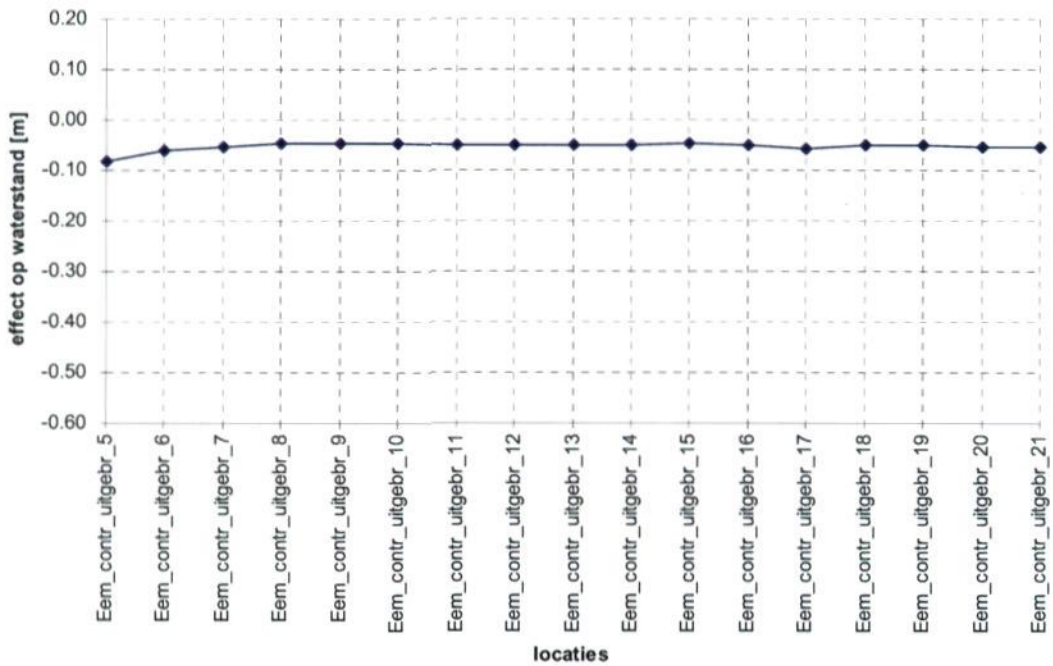
In werkelijkheid wordt verwacht dat er meer opstuwing plaatsvindt als gevolg van de aanleg van de weerstandsgeul. Deze effecten zijn echter niet waar te nemen op afbeelding 4.8., aangezien hier gekeken wordt naar maximale waterstanden. Bij een meer gedetailleerde beschouwing van de maatregelen, kan deze hypothese worden geverifieerd door de waterstanden op één tijdstip te presenteren.

Tot slot dient te worden opgemerkt, dat de weerstandsgeul dusdanig is geschematiseerd, dat de berekening een indicatie geeft van het maximaal mogelijke effect van de geul (zie §3.3.3.).

Afbeelding 4.8. Resultaat weerstandsgeul Hollandse brug

Het effect van de weerstandsgeul bij de Hollandse Brug op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.9. Het effect van de maatregel is beperkt (een waterstandsdaling van circa 0,05 m).

Afbeelding 4.9. Effect van weerstandsgeul Hollandse brug op maximale waterstand langs as Eem



4.7. Berekening 005: weerstandsgeul Stichtse brug

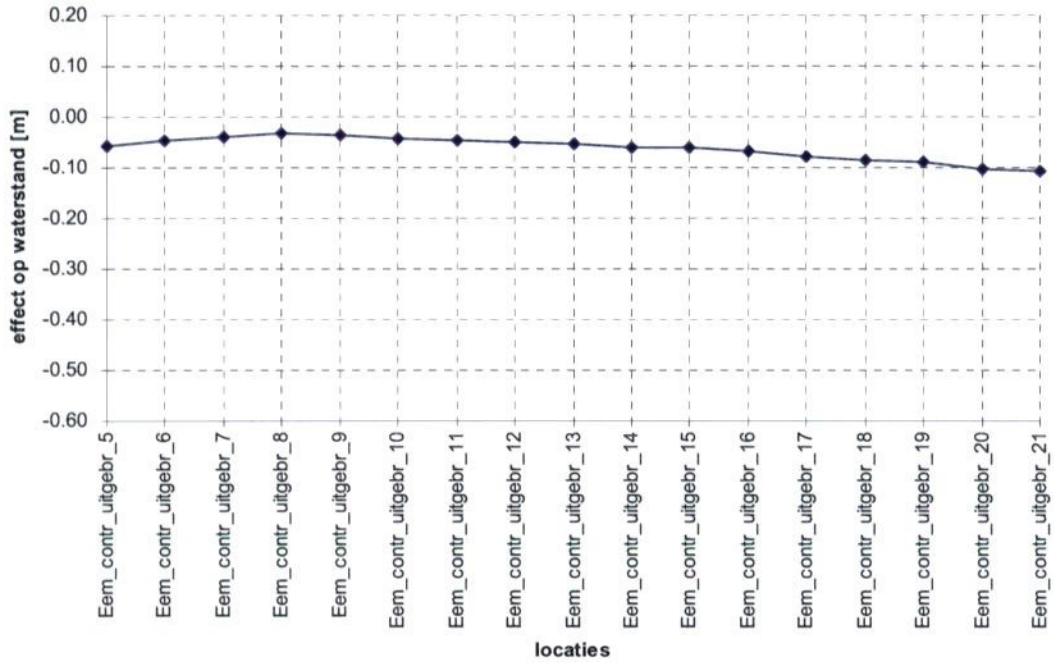
In de berekening 005 is het effect van de weerstandsgeul bij de Stichtse Brug beschouwd. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in de afbeelding 4.10.

De effecten van de weerstandsgeul Stichtse brug zijn vergelijkbaar met die van de weerstandsgeul Hollandse brug (§4.6.). Opvallend is de lagere waterstand op het Gooimeer, dat bovenstrooms van de weerstandsgeul gelegen is. Dit effect kan waarschijnlijk worden verklaard door de lagere instroom van water naar het Eemmeer aan het begin van de storm, hetgeen resulteert in een lagere waterstand op het Eemmeer. Hierdoor stroomt op het hoogtepunt van de storm nog water naar het Eemmeer, waardoor de hoogste waterstand op het Gooimeer iets lager uitvalt dan in de referentieberekening.

Afbeelding 4.10. Resultaat weerstandsgeul Stichtse brug

Het effect van de weerstandsgeul Stichtse Brug op de maximale waterstand langs de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.11. De weerstandsgeul heeft een kleine waterstandsverlaging (circa 5 tot 10 cm) op de Eem tot gevolg.

Afbeelding 4.11. Effect van weerstandsgeul Stichtse brug op maximale waterstand langs as Eem

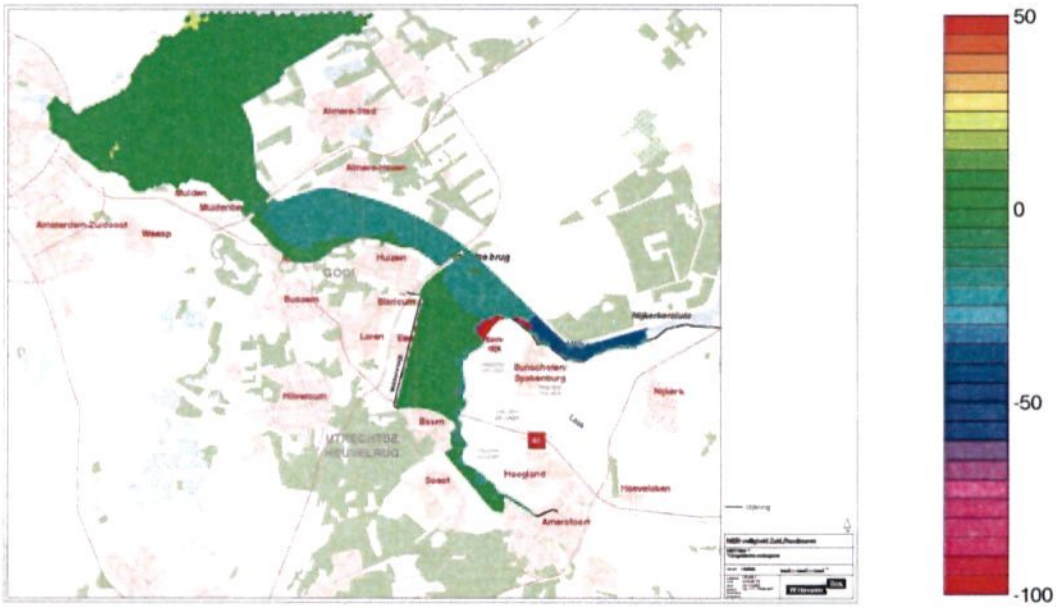


4.8. Berekening 006: weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug

In de berekening 006 wordt het effect van de aanleg van weerstandsgeulen ter plaatse van de Hollandse en de Stichtse Brug beschouwd. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in afbeelding 4.12.

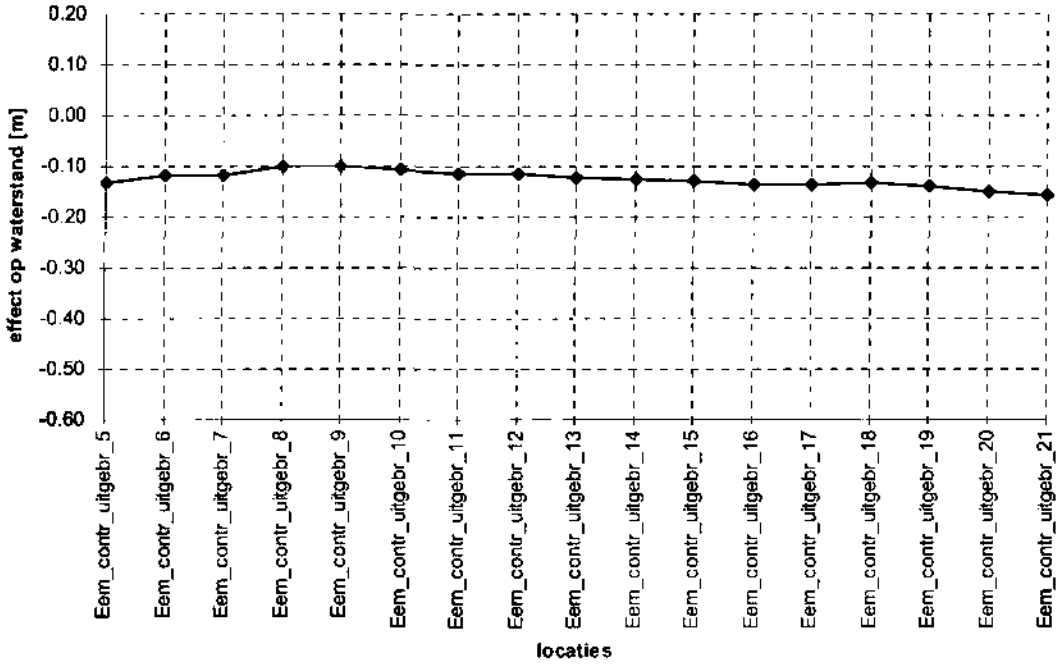
Indien de weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug beide worden aangelegd, is het waterstandsverlagend effect iets groter dan het effect van beide geulen afzonderlijk (circa 25 cm). De gemiddelde verlaging in het gebied is gelijk aan de verlaging als gevolg van één geul (in de orde van 15 tot 20 cm); de verlaging nabij Nijkerk is iets groter dan de verlaging, die wordt berekend als gevolg van één geul (maximaal 30 cm).

Afbeelding 4.12. Resultaat weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse brug



Het effect van de weerstandsgeulen Hollandse Brug en Stichtse Brug op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.13. De maximale waterstand wordt verlaagd met circa 10 to 15 cm langs de as van de Eem.

Afbeelding 4.13. Effect van weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse brug op de as van de Eem

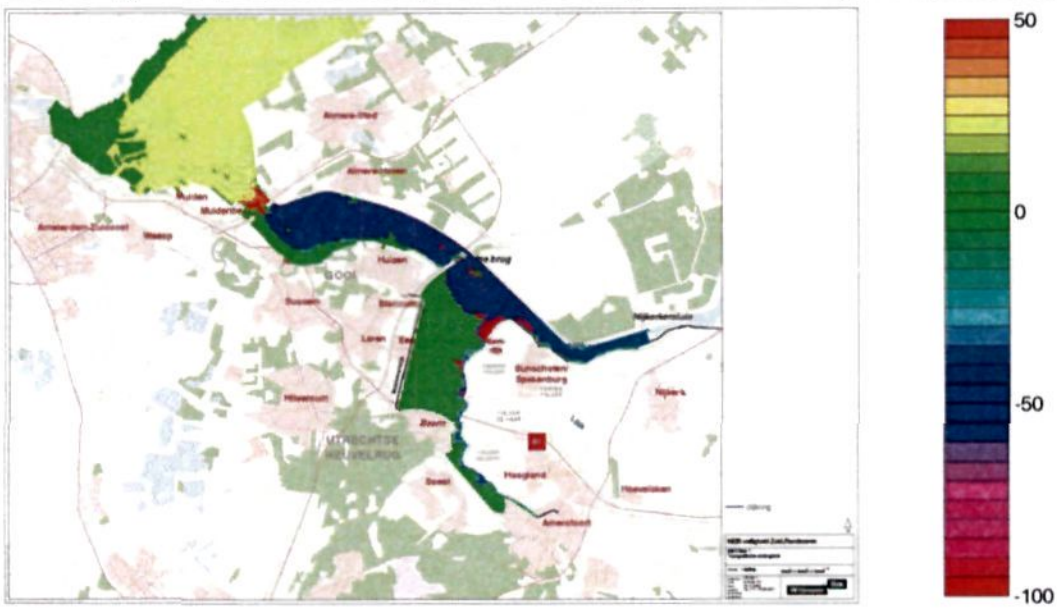


4.9. Berekening 007: kering Hollandse brug en weerstandsgeul Stichtse brug

In de berekeningen 007 is de hoofdmaatregel 'kering Hollandse Brug' gecombineerd met de weerstandsgeul bij de Stichtse Brug gecombineerd. Afbeelding 4.14. laat het effect zien van de aanleg van een kering bij de Hollandse Brug in combinatie met een weerstandsgeul bij de Stichtse Brug.

Het inzetten van de kering bij de Hollandse brug in combinatie met de weerstandsgeul Stichtse brug heeft weinig toegevoegde waarde ten opzichte van de inzet van alleen de kering (afbeelding 4.2.). De kering zorgt reeds voor een aanzienlijke waterstandsverlaging en blokkeert bovendien de instroom naar de randmeren. De opwaaiing binnen de Zuidelijke Randmeren wordt echter geremd door de weerstandsgeul. Hierdoor treedt nabij Nijkerk een iets lagere waterstand op, dan bij inzet van alleen de kering Hollandse brug.

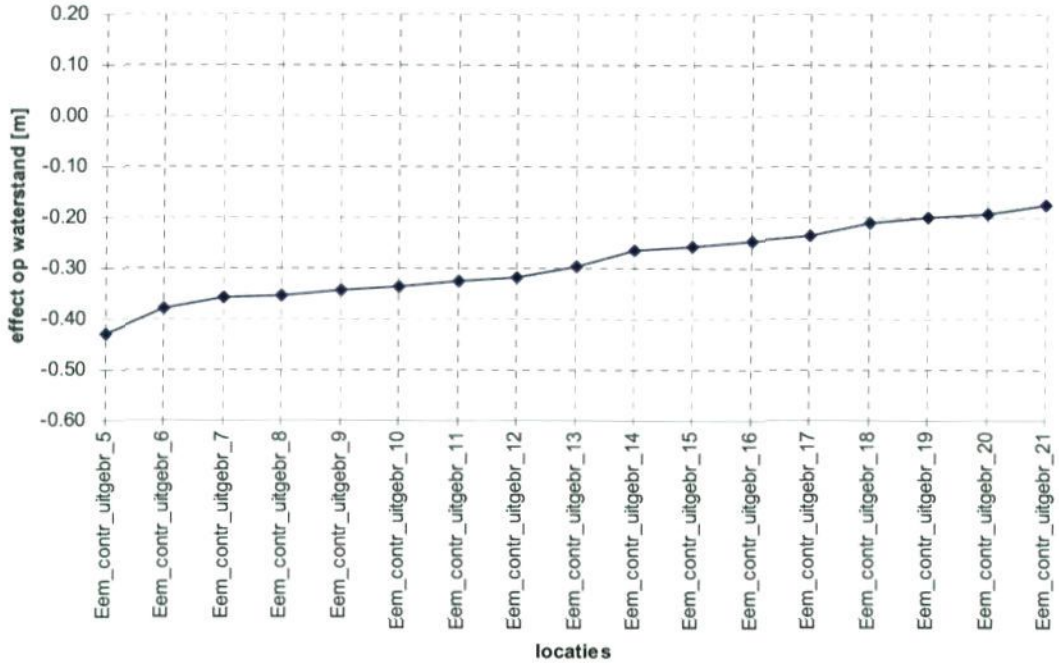
Afbeelding 4.14. Resultaat kering Hollandse brug en weerstandsgeul Stichtse brug



Het effect van de maatregel op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.15. Van beide alternatieven komen de effecten terug, de effecten van het alternatief kering Hollandse brug overheersen. Voor de benedenstroomse zijde van de Eem (locatie Eem_contr_uitgebr_5) geldt een waterstandsverlaging van circa 40 cm ten opzichte van de situatie zonder maatregelen. Het waterstandsverlagend effect neemt af richting de meer bovenstrooms gelegen locaties van de Eem.

Het waterstandsverlagend effect van de combinatie van de kering bij de Hollandse Brug en de weerstandsgeul bij de Stichtse Brug is circa 10 cm groter dan het waterstandsverlagend effect van alleen de kering bij de Hollandse Brug (afbeelding 4.3.).

Afbeelding 4.15. Effect van kering Hollandse brug en weerstandsgeul Stichtse brug op maximale waterstand langs as Eem

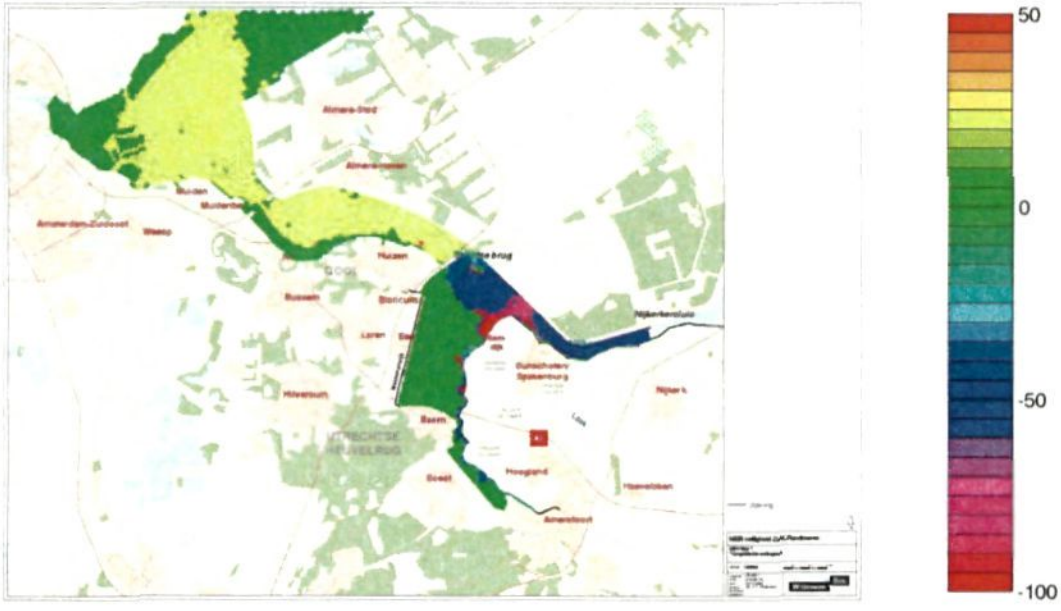


4.10. Berekening 008: kering Stichtse brug en weerstandsgeul Hollandse brug

Afbeelding 4.16. laat het effect zien van de aanleg van een kering bij de Stichtse Brug in combinatie met een weerstandsgeul bij de Hollandse Brug.

De aanleg van de Stichtse Brug in combinatie met de weerstandsgeul bij de Hollandse brug resulteert in een reductie van de opstuwing voor de kering. Vergeleken met berekening 002 (afbeelding 4.4.) voor alleen de Stichtse brug, zijn de maximale waterstanden op het Gooimeer weliswaar nog steeds hoger dan in de referentiesituatie, maar circa 0,15 m lager dan zonder de weerstandsgeul Hollandse brug.

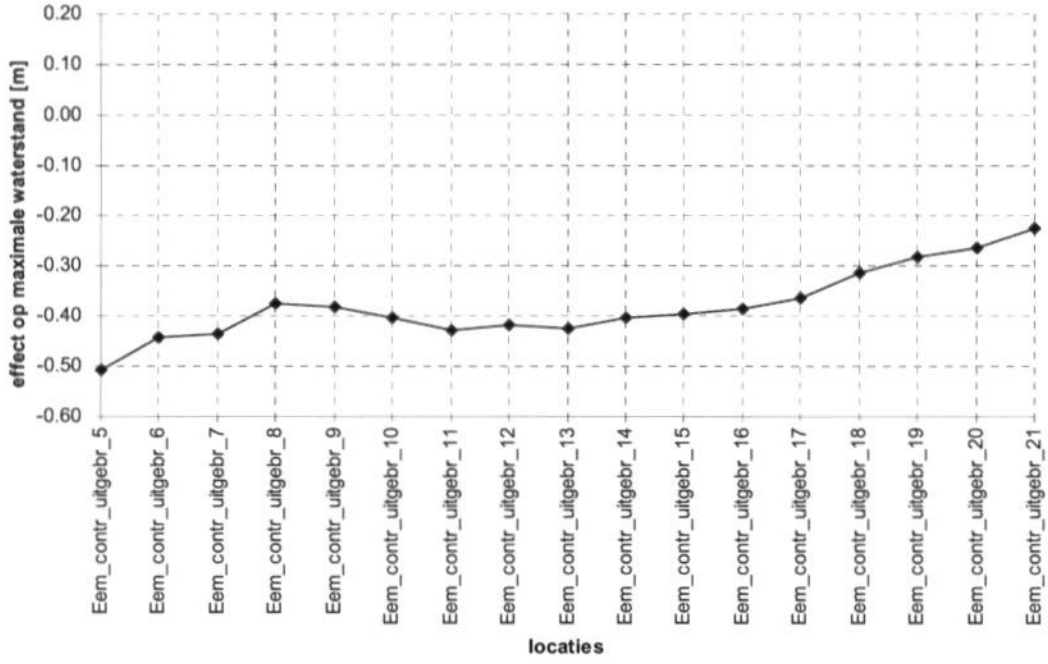
Afbeelding 4.16. Resultaat kering Stichtse brug en weerstandsgeul Hollandse brug



Het effect van de kering Stichtse Brug en de weerstandsgeul Hollandse Brug op de maximale waterstand op de as van de Eem staat in afbeelding 4.17. De waterstandsverlaging is maximaal aan de benedenstroomse zijde van de Eem (circa 50 cm) en neemt stroomopwaarts af.

Het waterstandsverlagend effect van de combinatie van de kering bij de Stichtse Brug en de weerstandsgeul bij de Hollandse Brug is slechts circa 5 cm groter dan het waterstandsverlagend effect van alleen de kering bij de Stichtse Brug (afbeelding 4.5.).

Afbeelding 4.17. Effect van kering Stichtse brug en weerstandsgeul Hollandse brug op maximale waterstand langs as Eem



4.11. Berekening 009: kering Eemmond en weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug

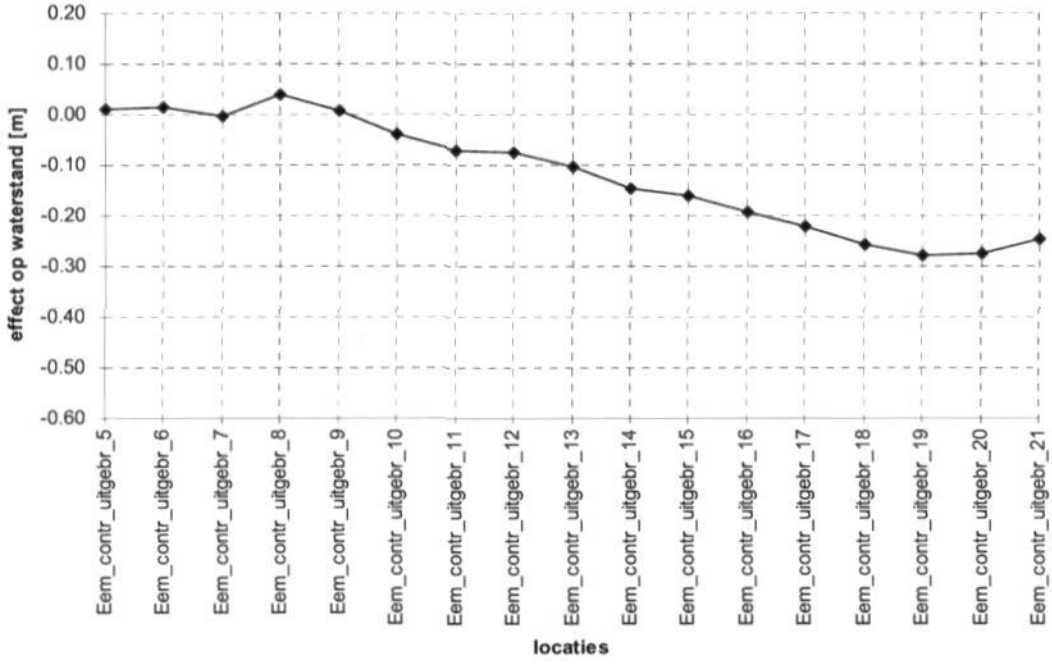
In de berekening 009 wordt het effect beschouwd van de aanleg van de kering Eemmond in combinatie met de weerstandsgeulen bij de Hollandse Brug en de Stichtse Brug. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in afbeelding 4.18.

De combinatie van weerstandsgeulen en de kering in de Eemmond brengt vergeleken met de individuele inzet van deze maatregelen geen extra waterstandsverlagende effecten met zich mee. Eén polder vormt hierop een uitzondering: door de lagere waterstanden in het Eemmeer, zal de kering Eemmond later sluiten en eerder weer openen. De totale sluitingsduur neemt hierdoor af. Er stroomt derhalve minder water in de meest benedenstroomse polder langs de Eem. De hoogste waterstanden op de Eem zelf veranderen nauwelijks.

Afbeelding 4.18. Resultaat kering Eemmond en weerstandsgeulen Stichtse brug en Hollandse Brug

Het effect van de maatregel op de maximale waterstand op de as van de Eem is weergegeven in afbeelding 4.19. Als gevolg van de kortere sluitingsduur is het effect op de maximale waterstand langs de as van de Eem iets kleiner (maximaal circa 5 cm) dan in de situatie met alleen de kering ter plaatse van de Eemmond.

Afbeelding 4.19. Effect van kering Eemmond en weerstandsgeulen Stichtse brug en Hollandse Brug op de maximale waterstand langs as van de Eem



4.12. Afzonderlijk effect aanvullende maatregel 'aflaten water' en 'eilanden Almere'

In de berekeningen 010, 020 en 030 is het autonome effect van de aanvullende maatregelen 'aflaten water op de Oostelijke Randmeren' en 'eilanden Almere' en een combinatie van beide maatregelen onderzocht. De resultaten van de berekeningen zijn respectievelijk weergegeven in de afbeeldingen 4.20. en 4.21., 4.22. en 4.23. en 4.24. en 4.25.

De maatregel 'aflaten water op Oostelijke Randmeren' heeft duidelijk een groter effect dan 'eilanden Almere'. Het combineren van beide maatregelen levert geen extra toegevoegde waarde boven de inzet van één van de maatregelen afzonderlijk (opgemerkt wordt dat er bij 'aflaten water op Oostelijke Randmeren' rekening is gehouden met ene peilstijging van circa 0,40 meter op de Oostelijke Randmeren).

De eilandjes geven een opstuwing van enkele centimeters in het westelijk deel van het Gooimeer en reduceren de waterstand enkele centimeters op het overige deel van de Zuidelijke Randmeren. Hierbij kan worden opgemerkt, dat deze reductie net genoeg is om inundatie van een polder bij de monding van de Eem te voorkomen (klein gebied met meer dan 10 cm reductie). Het aflaten van water op de Oostelijke Randmeren geeft de grootste waterstandsreductie nabij Nijkerk (circa 10 cm). De daling bij de Hollandse brug bedraagt circa 5 cm; op het Markermeer is nog een daling van circa 1 cm merkbaar.

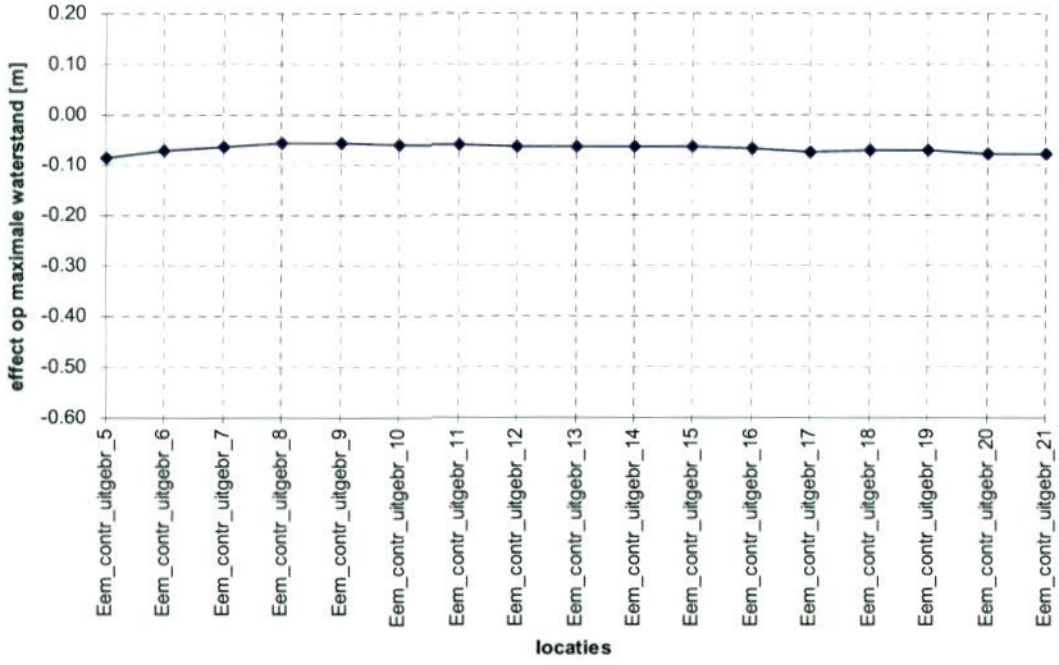
Zowel voor de eilandjes als het aflaten van water geldt, dat er gekozen is voor het schematiseren van de maximaal mogelijke realistische variant. In een later stadium dient geverifieerd te worden of het geschematiseerde daadwerkelijk realiseerbaar is.

De effecten van deze aanvullende maatregelen zijn kleiner dan die van de maatregelen 'keren' en 'weerstandsgeulen'. Het aflaten van water naar de Oostelijke Randmeren blijkt echter wel een alternatief te zijn met een goed oplossend vermogen.

Afbeelding 4.20. Effect 'aflaten water op Oostelijke Randmeren' (berekening 010)

Het effect van de maatregel op de maximale waterstand op de as van de Eem staat in afbeelding 4.21. Dit alternatief heeft slechts een geringe verlaging (circa 5 cm) van de maximale waterstand langs de as van de Eem tot gevolg.

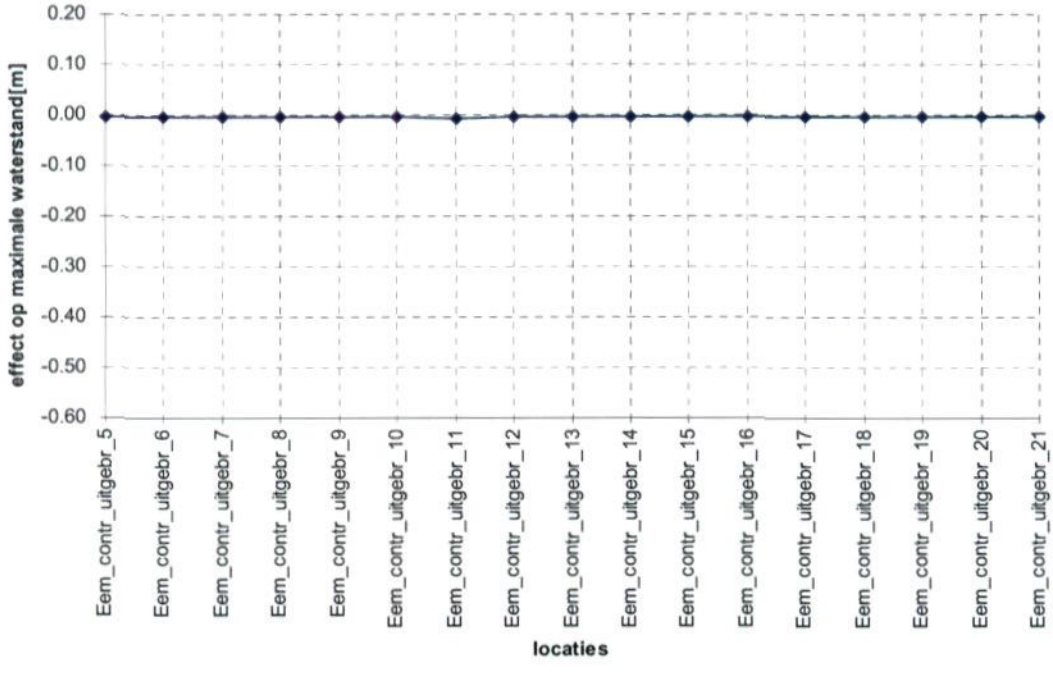
Afbeelding 4.21. Effect van 'aflaten water op Oostelijke Randmeren' op de maximale waterstands langs as Eem



Afbeelding 4.22. Effect 'eilanden Almere' (berekening 020)

In afbeelding 4.23. is te zien dat het effect van de eilanden bij Almere verwaarloosbaar is voor de maximale waterstanden langs de as van de Eem.

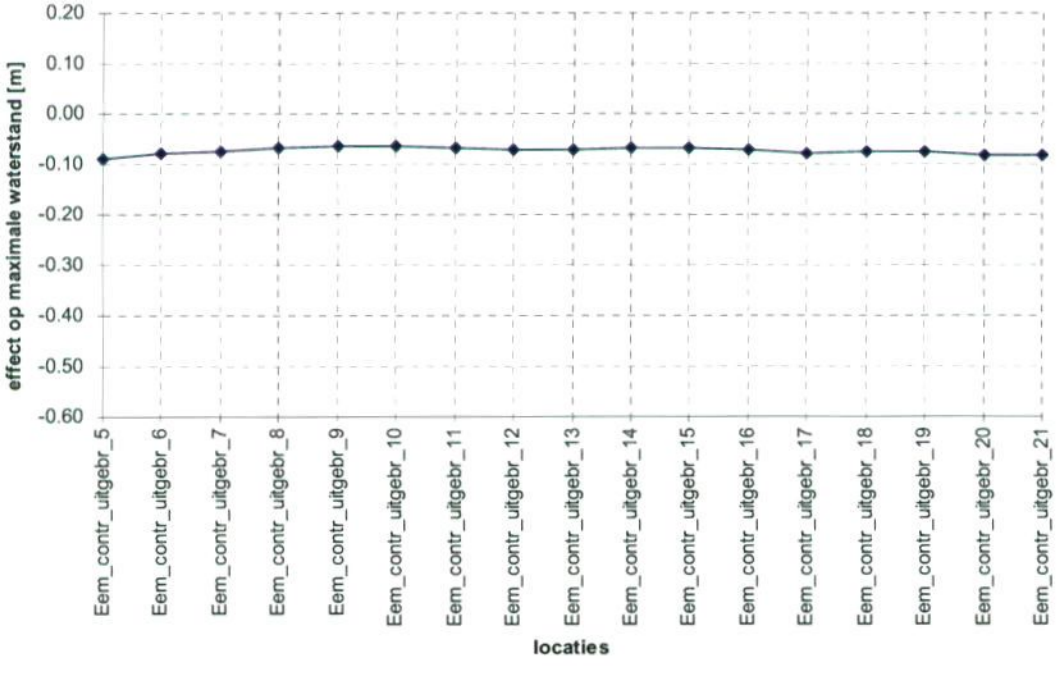
Afbeelding 4.23. Effect van 'eilanden Almere' op de maximale waterstanden langs as Eem



Afbeelding 4.24. Effect combinatie aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere' (berekening 030)

Afbeelding 4.25. geeft het effect weer van de combinatie aflaten water en eilanden Almere op de maximale waterstand langs de as van de Eem. Het gecombineerde effect van beide maatregelen komt overeen met de som van de afzonderlijke effecten.

Afbeelding 4.25. Effect van combinatie aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere' op de maximale waterstanden langs as Eem



4.13. Toegevoegd effect aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere'

De aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere' worden toegepast in combinatie met de maatregelen 'keringen' en 'weerstandsgeulen'. Door de combinatie van de maatregelen kan het effect van de aanvullende maatregel groter of juist kleiner worden dan wanneer de maatregel afzonderlijk wordt beschouwd.

De afbeeldingen presenteren het verschil met de overeenkomstige berekening zonder aanvullende maatregel (dus niet het verschil met de referentieberekening). Op deze manier wordt het toegevoegde effect van alleen de aanvullende maatregel gepresenteerd.

Afbeelding 4.26. laat het toegevoegd effect van de aanvullende maatregel 'aflaten Oostelijke Randmeren' zien in combinatie met:

- de maatregel 'weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug' (linker afbeelding – berekening 016);
- de maatregel 'weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug' en de kering Eemmond (rechter afbeelding – berekening 019).

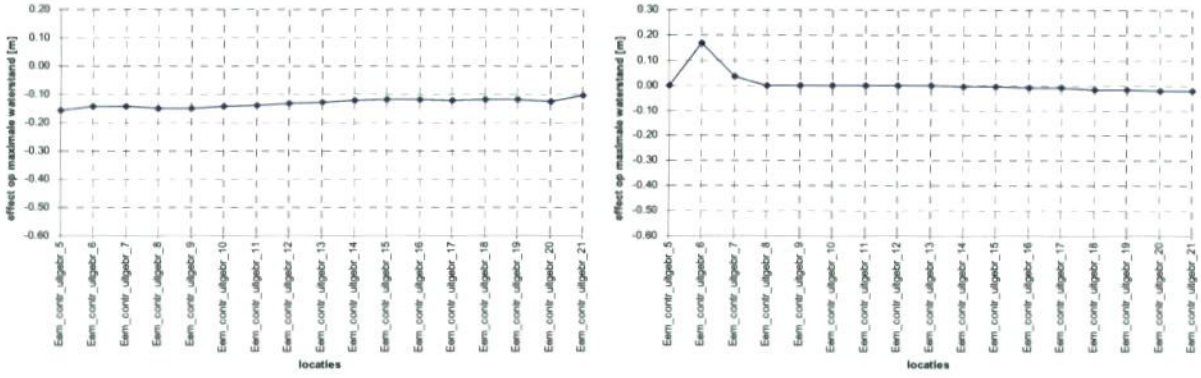
Het effect is in deze gevallen nagenoeg hetzelfde als het afzonderlijke effect van de aanvullende maatregel. De maatregel 'aflaten water' is het meest effectief als deze wordt toegepast met een maatregel die de instroom van water naar de randmeren bemoeilijkt. Immers het water dat wordt afgelaten naar de Oostelijke Randmeren veroorzaakt een waterstandsdaling op de randmeren, hetgeen vervolgens weer een snellere instroom van water aan de westzijde van de randmeren veroorzaakt.

Afbeelding 4.26. Toegevoegd effect 'aflaten water'

Het toegevoegd effect van de aanvullende maatregelen op de maximale waterstand op de as van de Eem staat in afbeelding 4.27. De linker afbeelding laat zien dat het aflaten van water een waterstandsverlaging van 0,10 m tot 0,15 m veroorzaakt langs de as van de Eem.

De maatregel 'aflaten water' heeft geen significant toegevoegd effect op de maximale waterstanden langs de Eem bij aanwezigheid van de kering bij Eemmond (Afbeelding 4.27. - rechts). Alleen ter plaatse van de locatie Eem_contr_uitgebr_6 (de locatie van de kering) treedt een verhoging van de waterstand op.

Afbeelding 4.27. Toegevoegd effect van 'aflaten water' op de maximale waterstanden langs as Eem



Afbeelding 4.28. laat het toegevoegd effect van de aanvullende maatregel 'eilanden Almere' zien in combinatie met:

- de 'kering Stichtse brug' (linker afbeelding – berekening 022);
- de 'weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug' (rechter afbeelding – berekening 026).

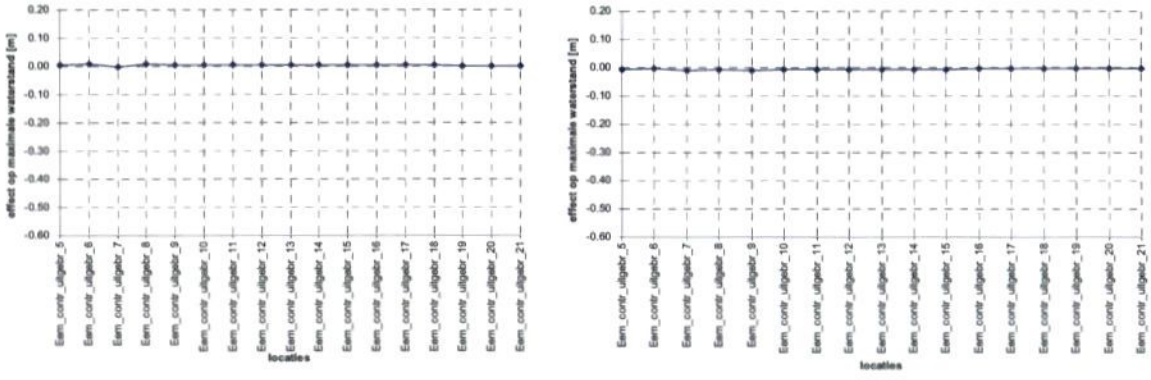
Uit de afbeeldingen blijkt dat de maatregel 'eilanden Almere' meer effect heeft in combinatie met de kering Stichtse brug dan in combinatie met de weerstandsgeulen. De hoogste waterstand op het Gooimeer oostelijk van de eilandjes neemt af met circa 4 cm extra ten opzichte van de maatregel Stichtse brug alleen. Op het Eemmeer treedt geen effect op door de aanvullende maatregel (de kering is immers gesloten).

De eilanden in combinatie met de weerstandsgeulen hebben een waterstandsverlagend effect van ongeveer 2 cm. In de situatie met de weerstandsgeulen daalt de hoogste waterstand nog 1 à 2 cm ten gevolge van de eilanden.

Afbeelding 4.28. Toegevoegd effect 'eilanden Almere'

Het toegevoegd effect van de aanvullende maatregelen op de maximale waterstand op de as van de Eem staat in afbeelding 4.29. De linker afbeelding laat een verlaging van de waterstand zien van minder dan 0,01 m. Bij de rechter afbeelding is de verhoging van de waterstand van nog geen 0,005 m.

Afbeelding 4.29. Toegevoegd effect van 'eilanden Almere' op de as van de Eem

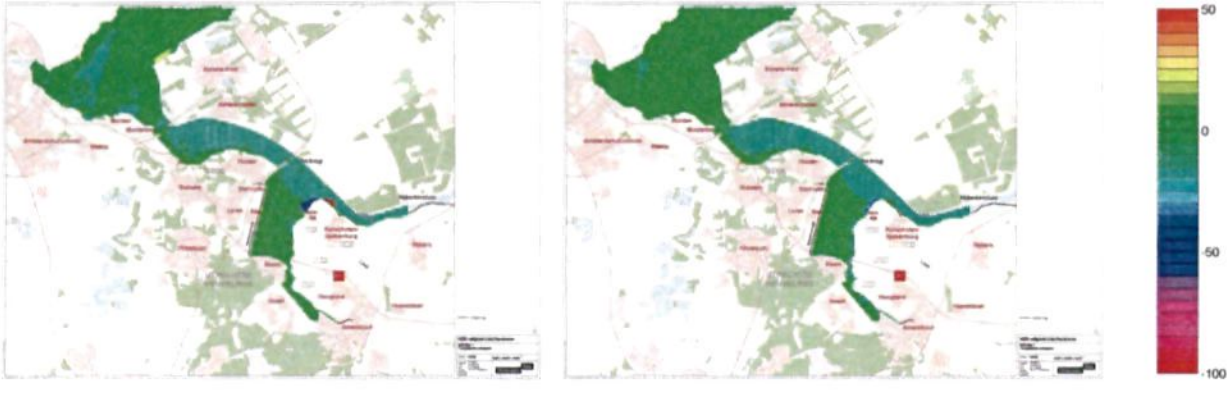


Afbeelding 4.30. laat het toegevoegd effect van de twee maatregelen 'aflaten water Oostelijke Randmeren' en 'eilanden Almere' zien in combinatie met:

- de Eemmond kering (linker afbeelding – berekening 033);
- de weerstandsgeul Hollandse brug (rechter afbeelding – berekening 034).

Uit de afbeeldingen blijkt dat de aanvullende maatregelen meer invloed op de waterstand op het westelijk deel van het Gooimeer hebben in combinatie met de weerstandsgeul dan met de Eemmond kering. Dit komt doordat de weerstandsgeul Hollandse brug weerstand biedt aan het water, dat extra wil instromen naar de randmeren door de lagere waterstand. In combinatie met de Eemmond kering hebben de aanvullende maatregelen geen significant effect op de Eem, omdat de kering gesloten is.

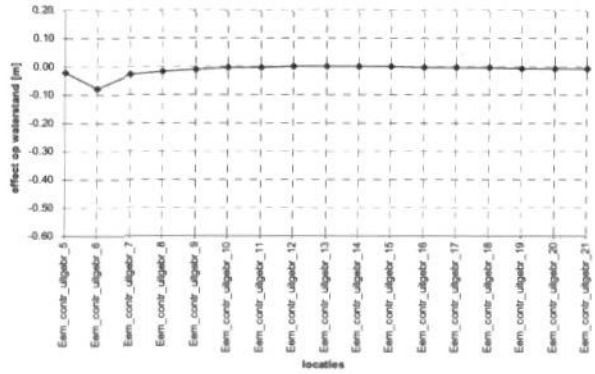
Afbeelding 4.30. Toegevoegd effect beide aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere'

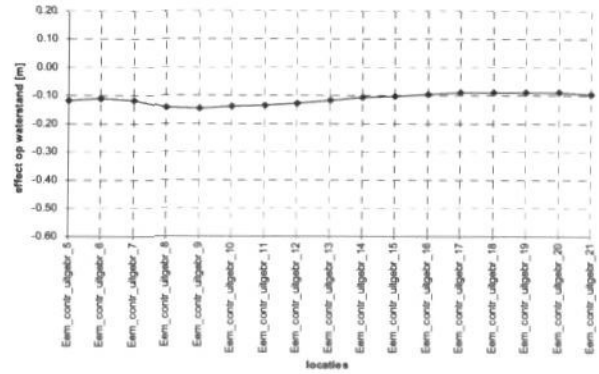


De maatregelen 'aflaten water' in combinatie met 'eilanden Almere' hebben geen significant toegevoegd effect op de maximale waterstanden langs de Eem bij aanwezigheid van de kering bij Eemmond (Afbeelding 4.31. links). Alleen ter plaatse van de locatie Eem_contr_uitgebr_6 (de locatie van de kering) treedt een verlaging van de waterstand op.

Bij aanwezigheid van een weerstandsgeul bij de Hollandse Brug heeft de combinatie van maatregelen een daling van de waterstand van circa 10 tot 15 cm tot gevolg (Afbeelding 4.31. – rechts)

Afbeelding 4.31. Toegevoegd effect beide aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere' op de as van de Eem





5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1. Inleiding

Deze notitie geeft het effect op de maximale waterstanden weer van de maatregelen kering Hollandse brug, kering Stichtse brug, kering Eemmond, weerstandsgeulen bij Hollandse brug en/of Stichtse brug of een combinatie van voorgenoemde tijdens een maatgevende storm. Daarnaast is het aanvullende effect van de maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden bij Almere' op de maximale waterstanden onderzocht. De bepaling van deze waterstanden vormt een onderdeel van de veiligheidstoets, die voor fase 1 van de MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren moet worden uitgevoerd.

Er is sprake van een studie die het oplossend vermogen van de maatregelen in kaart moet brengen. Voor een aantal maatregelen zijn aannamen gedaan die het exacte functioneren van het systeem beïnvloeden. De maatregelen moeten vooral kwalitatief beoordeeld worden. Voor een kwantitatief oordeel dienen de verschillende alternatieven verder uitgewerkt te worden.

5.2. Oplossend vermogen maatregelen

5.2.1. Keringen

De onderzochte alternatieven met keringen bij Hollandse brug of Stichtse brug geven een groot positief effect op de hoogste waterstand achter de kering. Voor de kering ontstaat opstuwing, waardoor de maximale waterstand juist toeneemt. De grootte van waterstandsverlaging achter de kering is groter dan de opstuwing voor de kering. Een kering biedt dus een goed oplossend vermogen om in een groot gebied een aanzienlijk daling van de hoogste waterstanden te reduceren, maar wentelt een deel van het waterprobleem af op het gebied voor de kering.

De kering bij de Eemmond heeft een minder groot waterstandsverlagend effect. Tevens stijgt de waterspiegel snel in het benedenstrooms deel van de rivier bij sluiting van de kering bij Eemmond als gevolg van de afvoer van de Eem onder maatgevende omstandigheden (75 m^3/s). Een van de naastgelegen polders inundeert hierdoor en de maximale waterstanden op het benedenstroomse deel van de Eem nemen toe in vergelijking tot de referentiesituatie. Meer bovenstrooms op de Eem reduceren de hoogste waterstanden.

5.2.2. Weerstandsgeulen

De weerstandsgeulen Hollandse brug en Stichtse brug kunnen elk een daling van de hoogste waterstanden van circa 10 à 20 cm geven. De geulen zijn in de huidige berekening maximaal geschematiseerd; het is derhalve niet reëel aan te nemen dat een groter effect met weerstandsgeulen haalbaar is (tenzij naast extra weerstand, andere maatregelen, zoals bijvoorbeeld het verkleinen van de doorstroomopening genomen worden).

Wanneer beide geulen tegelijkertijd ingezet worden reduceert de waterstand bij Nijkerk circa 30 cm. De weerstandsgeulen lijken in de huidige berekeningen geen verhoging van de maximale waterstand voor de geul te veroorzaken; het waterprobleem wordt dus niet op een ander gebied afgewenteld.

5.2.3. Combinaties van keringen en weerstandsgeulen

Indien een kering bij de Hollandse brug wordt toegepast, heeft een weerstandsgeul bij de Stichtse brug weinig toegevoegde waarde, omdat de instroom volledig wordt afgesloten bij Hollandse brug. Omgekeerd heeft een weerstandsgeul bij Hollandse brug een positief effect in combinatie met een kering bij Stichtse brug. Door de kleinere instroom van water naar het Gooimeer door de weerstandsgeul hoeft de kering Stichtse brug pas later gesloten te worden en de opstuwing op het Gooimeer en Markermeer is lager dan in de situatie zonder de weerstandsgeul.

Het inzetten van weerstandsgeulen in combinatie met de Eemkering heeft effect op de sluitingsduur van deze kering. Hierdoor wordt de afvoer van de rivier minder lang geblokkeerd en is minder bergend vermogen achter de kering vereist, waardoor de waterstanden minder hoog oplopen.

5.2.4. Aanvullende maatregelen 'aflaten water' en 'eilanden Almere'

Het inzetten van de aanvullende maatregel 'aflaten water op Oostelijke Randmeren' heeft een positief effect op de maximale waterstanden. Dit effect is groter dan aanvankelijk gedacht, maar is afhankelijk van de hoeveelheid en de snelheid, waarmee water afgelaten kan worden. De aanvullende maatregelen worden ingezet in combinatie met de maatregelen 'keringen' en 'weerstandsgeulen'. De maximale reductie nabij Nijkerk bedraagt circa 20 cm (afhankelijk van de combinatie). Als er geen keringen aanwezig zijn bij de Hollandse en de Stichtse brug is het effect tot op het Markermeer merkbaar. Op het Gooimeer bedraagt de reductie van de maximale waterstand circa 10 cm.

Deze maatregel is hier alleen beschouwd als optie om de waterstanden op de Zuidelijke Randmeren te verlagen. Alle neveneffecten, zoals een veiligheidsbeschouwing voor de Oostelijke Randmeren zelf, hydrodynamische effecten op de Oostelijke Randmeren, verschil in waterkwaliteit tussen beide systemen, zijn niet in de berekeningen meegenomen. Het blijft dus de vraag of deze oplossing haalbaar is.

De aanvullende maatregel eilandjes Almere heeft een zeer beperkte invloed op de waterstanden. Ondanks dat een groot aantal eilanden in de schematisatie zijn opgenomen, heeft deze maatregel weinig effect. Ook in combinatie met de andere maatregelen blijft het waterstandverlagend effect beperkt.

5.2.5. Effecten op de as van de Eem

De alternatieven kering Hollandse Brug en Stichtse brug zorgen voor een duidelijke verlaging van de maximale waterstand op de as van de Eem, terwijl het kering Eemmond voor een stijging zorgt bij de monding en bovenstrooms voor een beperkte daling. De weerstandsgeulen en het aflaten van water zorgen voor een verlaging van 0,05 tot 0,15 m op de as van de Eem.

5.2.6. Overzicht oplossend vermogen

In tabel 5.1. is een overzicht gegeven van het oplossend vermogen van de beschouwde maatregelen. Voor elk van de maatregelen is gekeken naar het effect op de maximale waterstanden voor zowel het Markermeer, het Gooimeer en het Eemmeer. Een negatieve ΔH betekent een verlaging van de maximale waterstand ten gevolge van het implementeren van de maatregel; een positieve verandering betekent een verhoging van de maximale waterstand ten gevolge van het implementeren van de maatregel.

Hierbij wordt nogmaals opgemerkt, dat het gaat om het oplossend vermogen en dat de maatregelen derhalve vooral kwalitatief beoordeeld dienen te worden. Voor een kwantitatief oordeel dienen de verschillende alternatieven verder uitgewerkt te worden.

Tabel 5.1. Gemiddelde verandering in maximale waterstanden per maatregel

nr	maatregel	ΔH Markermeer [cm]	ΔH Gooimeer [cm]	ΔH Eemmeer [cm]	ΔH Eem [cm]	ΔH Nijkernauw [cm]
001	kering Hollandse brug	+10	-45	-45	-30	-25
002	kering Stichtse brug	+5	+15	-55	-45	-55
003	kering Eemmond	0	+5	+5	-15	+5
004	weerstandsgeul Hollandse Brug	0	-5	-10	-5	-5
005	weerstandsgeul Stichtse Brug	0	-5	-5	-5	-15
006	weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse Brug	0	-10	-15	-15	-25
007	kering Hollandse Brug en weerstandsgeul Stichtse Brug	+10	-45	-50	-35	-35
008	kering Stichtse brug en weerstandsgeul Hollandse Brug	+5	+10	-50	-35	-50

nr	maatregel	ΔH Markermeer [cm]	ΔH Goolmeer [cm]	ΔH Eemmeer [cm]	ΔH Eem [cm]	ΔH Nijkernauw [cm]
009	kering Eemmond en weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse Brug	0	-10	-15	-10	-15
010	aflaten water	0	-5	-10	-5	-15
016	aflaten water en weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse Brug	0	-5	-15	-10	-20
019	kering Eemmond en weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse Brug	0	-5	-15	-5	-25
020	eilanden Almere	0	0	0	0	0
022	kering Stichtse brug en eilanden Almere	0	0	0	0	0
026	eilanden Almere en weerstandsgeulen Hollandse en Stichtse Brug	0	0	-5	-5	-5
030	aflaten water en eilanden Almere	0	-5	-10	-5	-15
033	kering Eemmond en aflaten water en eilanden Almere	0	-5	-10	-5	-15
034	aflaten water en eilanden Almere en weerstandsgeul Hollandse Brug	0	-10	-10	-10	-15

Opgemerkt dient te worden dat in de gebruikte WAQUA-schematisatie de hoogten van de secundaire keringen in de Eempolder afwijken van de toekomstige keringhoogten. Daarnaast bestaat onduidelijkheid over de sterkte van de secundaire keringen tijdens een maatgevende situatie.

Hiertoe zijn twee berekeningen uitgevoerd:
1. de juiste hoogte van de keringen;
2. het ontbreken van secundaire keringen in de Eemvallei.

In Bijlage 2 zijn de correctiefactoren voor de verschillende alternatieven ten opzichte van de concept HR2006 weergegeven. De factoren zijn gegeven voor de meetlocaties op de as van de Eem (Eem_contr_uitgebr 5 tot en met 21). Om het effect van de maatregelen te bepalen dient eveneens te worden gecorrigeerd voor de juiste keringhoogte (deze factoren staan onder kolomtitel 'aangepaste hoogten').

5.3. Aanbevelingen

Voor een verdere uitwerking van de meest geschikte maatregel, worden de volgende aannamen gedaan:

- in de huidige schematisatie van de Eemvallei is een aantal buitendijkse gebieden beschermd tegen overstromen door zomerkaden. Veiligheidstoetsen hebben aangegeven dat deze zomerkaden echter onder de maatgevende belasting zouden bezwijken. Formeel gezien zouden deze keringen dus op een bepaald moment niet meer in de schematisatie aanwezig mogen zijn, aangezien de keringen zijn bezweken. Het verdient aanbeveling om bij het bepalen van de effecten van ingrepen hiermee rekening te houden. In de huidige berekeningen is geen rekening gehouden met het bezwijken van zomerkaden;
- de afvoer van de Eem onder maatgevende omstandigheden dient nader te worden geanalyseerd. Hiertoe dient een statistische analyse (joint probability) van de Eemafvoer in combinatie met de maatgevende situatie op het Markermeer te worden uitgevoerd.

6. REFERENTIES

1. DHV, 2005. Startnotitie MER veiligheid Zuidelijke Randmeren, dossier V1402.03.001, registratienr WG-SE20041250, versie 1

2. HKV LIJN IN WATER / Royal Haskoning, 2003. Onderzoek Toekomstige Veiligheid Randmeren, Herzien Eindrapport, PR567

3. RIZA, 1987. Effect variatie opzetduren op de hoogwaterstanden in het noordelijk deltabekken. DBW/RIZA nota87.054, november 1987

4. RIZA-WRV, 2005. Memo Invloed Buitendijks gebied op waterbergend vermogen Zuidelijke Randmeren V6Q

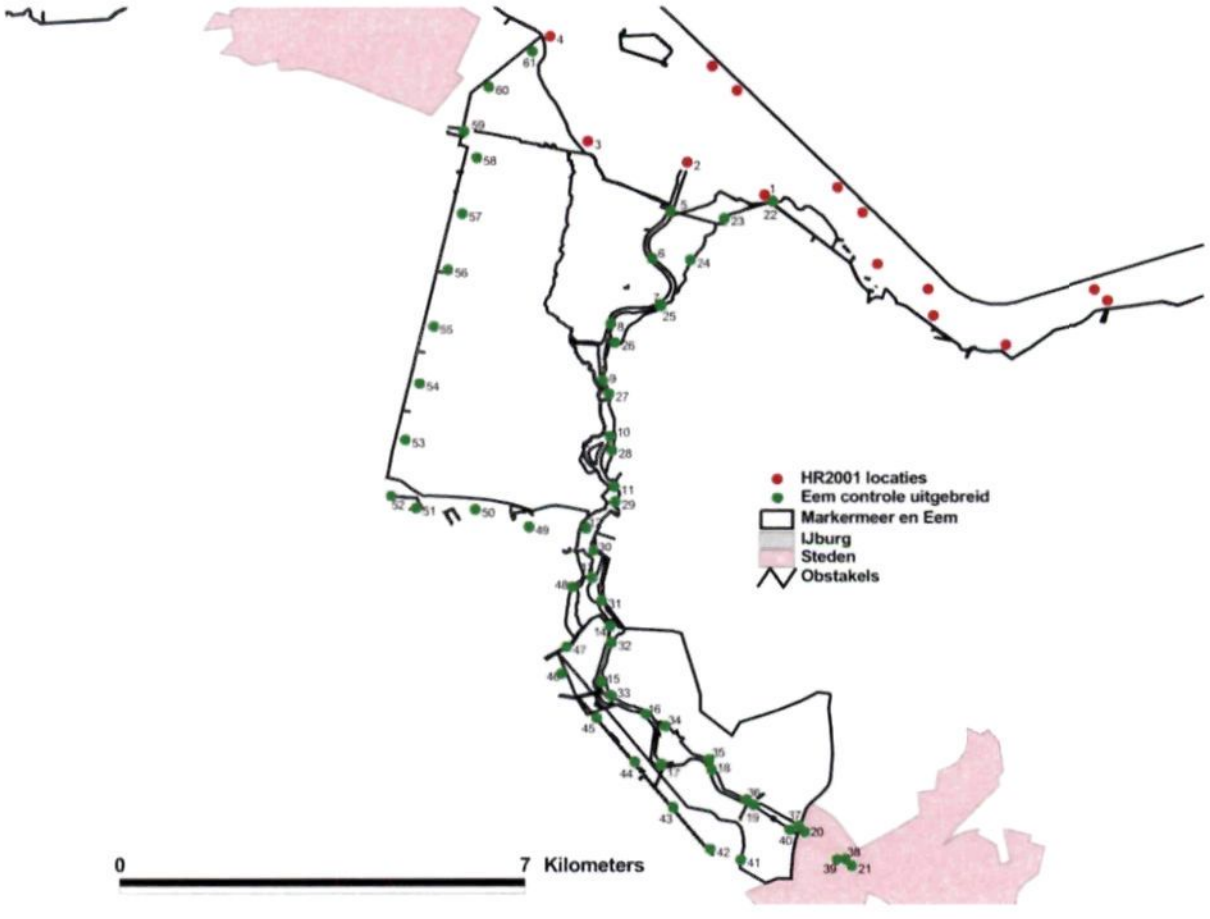
5. Waterloopkundig Laboratorium, 1981. Waterstanden en golfoploop in Ketelmeer, Zwartemeer, Vossemeer, rapport R1524

6. Waterloopkundig Laboratorium, 1997. Onafhankelijk onderzoek Markermeer Technisch inhoudelijke en integrerende studie. Verslag fase 1b-3, Stormprofiel en windvelden (H3211)

7. WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005. Productieberekeningen Hydraulische Randvoorwaarden 2006, IJburg en de Eem (RI-4393A)

BIJLAGE 1 Locaties Eemvallei

Afbeelding B1.1. Eem_contr_uitgebr (WL|Delft Hydraulics en Witteveen+Bos, 2005)



De locatienummers in Afbeelding I.1. komen overeen met de nummers van de locatienamen in de set Eem_contr_uitgebreid.

BIJLAGE 2 Correctiefactoren oplossend vermogen ten opzichte van concept HR2006

Maximale waterstanden voor de verschillende alternatieven

p	naam	concept HR2006 waterstand [m+NAP] Berek 000	aangepaste hoogten waterstand [m+NAP]	zonder keringen waterstand [m+NAP]	kering Hollandse brug waterstand [m+NAP] Berek 001	kering Stichtse brug waterstand [m+NAP] Berek 002	kering Eemmond* waterstand [m+NAP] Berek 003	nulalternatief waterstand [m+NAP] Berek 004
2124	Eem_contr_uitgebr_5	1.17	1.12	0.87	0.80	0.58	1.22	1.08
2125	Eem_contr_uitgebr_6	1.17	1.15	0.84	0.84	0.65	1.26	1.11
2126	Eem_contr_uitgebr_7	1.21	1.15	0.86	0.91	0.71	1.24	1.16
2127	Eem_contr_uitgebr_8	1.21	1.09	0.63	0.91	0.77	1.26	1.16
2128	Eem_contr_uitgebr_9	1.26	1.11	0.50	0.98	0.82	1.28	1.22
2129	Eem_contr_uitgebr_10	1.34	1.14	0.52	1.07	0.88	1.31	1.30
2130	Eem_contr_uitgebr_11	1.39	1.16	0.56	1.14	0.91	1.33	1.34
2131	Eem_contr_uitgebr_12	1.44	1.14	0.60	1.19	0.96	1.37	1.39
2132	Eem_contr_uitgebr_13	1.51	1.16	0.68	1.29	1.03	1.41	1.46
2133	Eem_contr_uitgebr_14	1.59	1.19	0.77	1.40	1.14	1.46	1.55
2134	Eem_contr_uitgebr_15	1.63	1.21	0.83	1.45	1.18	1.48	1.59
2135	Eem_contr_uitgebr_16	1.69	1.24	0.90	1.52	1.25	1.51	1.64
2136	Eem_contr_uitgebr_17	1.76	1.30	0.99	1.60	1.34	1.55	1.70
2137	Eem_contr_uitgebr_18	1.83	1.36	1.11	1.71	1.46	1.60	1.78
2138	Eem_contr_uitgebr_19	1.92	1.44	1.28	1.83	1.60	1.69	1.88
2139	Eem_contr_uitgebr_20	2.05	1.58	1.42	1.96	1.75	1.82	2.00
2140	Eem_contr_uitgebr_21	2.26	1.84	1.66	2.18	2.00	2.05	2.20

Correctiefactoren voor de maximale waterstanden van de alternatieven ten opzichte van de concept HR2006

p	naam	aangepaste hoogten correctie [m]	zonder keringen correctie [m]	kering Hollandse brug correctie [m] Berek 001	kering Stichtse brug correctie [m] Berek 002	kering Eemmond* correctie [m] Berek 003	nulalternatief correctie [m] Berek 004
2124	Eem_contr_uitgebr_5	-0.04	-0.30	-0.36	-0.58	0.05	-0.08
2125	Eem_contr_uitgebr_6	-0.02	-0.33	-0.33	-0.52	0.09	-0.06
2126	Eem_contr_uitgebr_7	-0.06	-0.35	-0.31	-0.51	0.03	-0.05
2127	Eem_contr_uitgebr_8	-0.12	-0.58	-0.30	-0.44	0.05	-0.05
2128	Eem_contr_uitgebr_9	-0.16	-0.76	-0.29	-0.45	0.02	-0.05
2129	Eem_contr_uitgebr_10	-0.20	-0.82	-0.27	-0.47	-0.03	-0.05
2130	Eem_contr_uitgebr_11	-0.23	-0.84	-0.26	-0.49	-0.07	-0.05
2131	Eem_contr_uitgebr_12	-0.30	-0.84	-0.25	-0.48	-0.07	-0.05
2132	Eem_contr_uitgebr_13	-0.35	-0.83	-0.23	-0.48	-0.10	-0.05
2133	Eem_contr_uitgebr_14	-0.40	-0.82	-0.20	-0.46	-0.14	-0.05
2134	Eem_contr_uitgebr_15	-0.43	-0.80	-0.19	-0.45	-0.15	-0.05
2135	Eem_contr_uitgebr_16	-0.45	-0.79	-0.17	-0.44	-0.18	-0.05
2136	Eem_contr_uitgebr_17	-0.46	-0.76	-0.15	-0.42	-0.20	-0.06
2137	Eem_contr_uitgebr_18	-0.47	-0.72	-0.12	-0.36	-0.23	-0.05
2138	Eem_contr_uitgebr_19	-0.48	-0.65	-0.10	-0.33	-0.24	-0.05
2139	Eem_contr_uitgebr_20	-0.47	-0.63	-0.09	-0.30	-0.23	-0.05
2140	Eem_contr_uitgebr_21	-0.41	-0.59	-0.08	-0.26	-0.20	-0.05

* alleen gebruiken indien dijkring 45 getoetst wordt. Dit in verband met de combinatie van aanpassing kering Eemmond en verwijderen van alle keringen

Maximale waterstanden voor de verschillende alternatieven

p	naam	concept HR2006 waterstand [m+NAP] Berek 000	aangepaste hoogten waterstand [m+NAP]	zonder keringen waterstand [m+NAP]	kering Hollandse brug waterstand [m+NAP] Berek 007	kering Stichtse brug waterstand [m+NAP] Berek 008	kering Eemmond* waterstand [m+NAP] Berek 009	nulalternatief waterstand [m+NAP] Berek 010
2124	Eem_contr_uitgebr_5	1.17	1.12	0.87	0.74	0.66	1.18	1.08
2125	Eem_contr_uitgebr_6	1.17	1.15	0.84	0.79	0.73	1.18	1.10
2126	Eem_contr_uitgebr_7	1.21	1.15	0.86	0.86	0.78	1.21	1.15
2127	Eem_contr_uitgebr_8	1.21	1.09	0.63	0.86	0.83	1.25	1.15
2128	Eem_contr_uitgebr_9	1.26	1.11	0.50	0.92	0.88	1.27	1.21
2129	Eem_contr_uitgebr_10	1.34	1.14	0.52	1.01	0.94	1.30	1.28
2130	Eem_contr_uitgebr_11	1.39	1.16	0.56	1.07	0.97	1.32	1.33
2131	Eem_contr_uitgebr_12	1.44	1.14	0.60	1.12	1.02	1.36	1.37
2132	Eem_contr_uitgebr_13	1.51	1.16	0.68	1.22	1.09	1.41	1.45
2133	Eem_contr_uitgebr_14	1.59	1.19	0.77	1.33	1.19	1.45	1.53
2134	Eem_contr_uitgebr_15	1.63	1.21	0.83	1.38	1.24	1.47	1.57
2135	Eem_contr_uitgebr_16	1.69	1.24	0.90	1.44	1.30	1.50	1.62
2136	Eem_contr_uitgebr_17	1.76	1.30	0.99	1.52	1.39	1.54	1.68
2137	Eem_contr_uitgebr_18	1.83	1.36	1.11	1.62	1.51	1.57	1.76
2138	Eem_contr_uitgebr_19	1.92	1.44	1.28	1.72	1.64	1.65	1.85
2139	Eem_contr_uitgebr_20	2.05	1.58	1.42	1.86	1.79	1.77	1.97
2140	Eem_contr_uitgebr_21	2.26	1.84	1.66	2.08	2.03	2.01	2.18

Correctiefactoren voor de maximale waterstanden van de alternatieven ten opzichte van de concept HR2006

p	naam	aangepaste hoogten correctie [m]	zonder keringen correctie [m]	kering Hollandse brug correctie [m] Berek 007	kering Stichtse brug correctie [m] Berek 008	kering Eemmond* correctie [m] Berek 009	nulalternatief correctie [m] Berek 010
2124	Eem_contr_uitgebr_5	-0.04	-0.30	-0.43	-0.51	0.01	-0.08
2125	Eem_contr_uitgebr_6	-0.02	-0.33	-0.38	-0.44	0.01	-0.07
2126	Eem_contr_uitgebr_7	-0.06	-0.35	-0.36	-0.44	-0.00	-0.07
2127	Eem_contr_uitgebr_8	-0.12	-0.58	-0.35	-0.37	0.04	-0.06
2128	Eem_contr_uitgebr_9	-0.16	-0.76	-0.34	-0.38	0.01	-0.06
2129	Eem_contr_uitgebr_10	-0.20	-0.82	-0.34	-0.40	-0.04	-0.06
2130	Eem_contr_uitgebr_11	-0.23	-0.84	-0.33	-0.43	-0.07	-0.06
2131	Eem_contr_uitgebr_12	-0.30	-0.84	-0.32	-0.42	-0.07	-0.06
2132	Eem_contr_uitgebr_13	-0.35	-0.83	-0.30	-0.42	-0.11	-0.06
2133	Eem_contr_uitgebr_14	-0.40	-0.82	-0.27	-0.40	-0.15	-0.06
2134	Eem_contr_uitgebr_15	-0.43	-0.80	-0.26	-0.40	-0.16	-0.06
2135	Eem_contr_uitgebr_16	-0.45	-0.79	-0.25	-0.38	-0.19	-0.07
2136	Eem_contr_uitgebr_17	-0.46	-0.76	-0.23	-0.37	-0.22	-0.07
2137	Eem_contr_uitgebr_18	-0.47	-0.72	-0.21	-0.32	-0.26	-0.07
2138	Eem_contr_uitgebr_19	-0.48	-0.65	-0.20	-0.28	-0.28	-0.07
2139	Eem_contr_uitgebr_20	-0.47	-0.63	-0.19	-0.26	-0.28	-0.08
2140	Eem_contr_uitgebr_21	-0.41	-0.59	-0.18	-0.22	-0.25	-0.08

* alleen gebruiken indien dijkring 45 getoetst wordt. Dit in verband met de combinatie van aanpassing kering Eemmond en verwijderen van alle keringen

Maximale waterstanden voor de verschillende alternatieven

p	naam	concept HR2006 waterstand [m+NAP] Berek 000	aangepaste hoogten waterstand [m+NAP]	zonder keringen waterstand [m+NAP]	nulalternatief waterstand [m+NAP] Berek 020	kering Stichtse brug waterstand [m+NAP] Berek 022	combi-nulalternatief waterstand [m+NAP] Berek 026	combi-nulalternatief waterstand [m+NAP] Berek 030
2124	Eem_contr_uitgebr_5	1.17	1.12	0.87	1.16	0.59	1.03	1.08
2125	Eem_contr_uitgebr_6	1.17	1.15	0.84	1.17	0.65	1.05	1.09
2126	Eem_contr_uitgebr_7	1.21	1.15	0.86	1.21	0.70	1.09	1.14
2127	Eem_contr_uitgebr_8	1.21	1.09	0.63	1.21	0.77	1.10	1.14
2128	Eem_contr_uitgebr_9	1.26	1.11	0.50	1.26	0.82	1.15	1.20
2129	Eem_contr_uitgebr_10	1.34	1.14	0.52	1.34	0.88	1.23	1.28
2130	Eem_contr_uitgebr_11	1.39	1.16	0.56	1.39	0.91	1.27	1.33
2131	Eem_contr_uitgebr_12	1.44	1.14	0.60	1.44	0.96	1.32	1.37
2132	Eem_contr_uitgebr_13	1.51	1.16	0.68	1.51	1.04	1.39	1.44
2133	Eem_contr_uitgebr_14	1.59	1.19	0.77	1.59	1.14	1.46	1.52
2134	Eem_contr_uitgebr_15	1.63	1.21	0.83	1.63	1.19	1.50	1.56
2135	Eem_contr_uitgebr_16	1.69	1.24	0.90	1.69	1.25	1.55	1.62
2136	Eem_contr_uitgebr_17	1.76	1.30	0.99	1.75	1.34	1.62	1.68
2137	Eem_contr_uitgebr_18	1.83	1.36	1.11	1.82	1.47	1.69	1.75
2138	Eem_contr_uitgebr_19	1.92	1.44	1.28	1.92	1.60	1.78	1.85
2139	Eem_contr_uitgebr_20	2.05	1.58	1.42	2.05	1.75	1.90	1.97
2140	Eem_contr_uitgebr_21	2.26	1.84	1.66	2.25	2.00	2.09	2.17

Correctiefactoren voor de maximale waterstanden van de alternatieven ten opzichte van de concept HR2006

p	naam	aangepaste hoogten correctie [m]	zonder keringen correctie [m]	nulalternatief correctie [m] Berek 020	kering Stichtse brug correctie [m] Berek 022	combi-nulalternatief correctie [m] Berek 026	combi-nulalternatief correctie [m] Berek 030
2124	Eem_contr_uitgebr_5	-0.04	-0.30	-0.00	-0.58	-0.14	-0.09
2125	Eem_contr_uitgebr_6	-0.02	-0.33	-0.00	-0.52	-0.12	-0.08
2126	Eem_contr_uitgebr_7	-0.06	-0.35	-0.00	-0.51	-0.13	-0.07
2127	Eem_contr_uitgebr_8	-0.12	-0.58	-0.00	-0.44	-0.11	-0.07
2128	Eem_contr_uitgebr_9	-0.16	-0.76	-0.00	-0.44	-0.11	-0.07
2129	Eem_contr_uitgebr_10	-0.20	-0.82	-0.00	-0.46	-0.11	-0.06
2130	Eem_contr_uitgebr_11	-0.23	-0.84	-0.01	-0.48	-0.12	-0.07
2131	Eem_contr_uitgebr_12	-0.30	-0.84	-0.00	-0.48	-0.12	-0.07
2132	Eem_contr_uitgebr_13	-0.35	-0.83	-0.00	-0.48	-0.13	-0.07
2133	Eem_contr_uitgebr_14	-0.40	-0.82	-0.00	-0.46	-0.13	-0.07
2134	Eem_contr_uitgebr_15	-0.43	-0.80	-0.00	-0.45	-0.14	-0.07
2135	Eem_contr_uitgebr_16	-0.45	-0.79	-0.00	-0.44	-0.14	-0.07
2136	Eem_contr_uitgebr_17	-0.46	-0.76	-0.00	-0.42	-0.14	-0.08
2137	Eem_contr_uitgebr_18	-0.47	-0.72	-0.00	-0.36	-0.14	-0.07
2138	Eem_contr_uitgebr_19	-0.48	-0.65	-0.00	-0.32	-0.14	-0.08
2139	Eem_contr_uitgebr_20	-0.47	-0.63	-0.00	-0.30	-0.15	-0.08
2140	Eem_contr_uitgebr_21	-0.41	-0.59	-0.00	-0.26	-0.16	-0.08

* alleen gebruiken indien dijkring 45 getoetst wordt. Dit in verband met de combinatie van aanpassing kering Eemmond en verwijderen van alle keringen