



Rijkswaterstaat

Achtergrondrapport HR 2006 voor de Meren

Hydraulische Randvoorwaarden 2006

RWS RIZA rapport 2007.025

Colofon

Dit is een uitgave van Rijkswaterstaat
November 2008

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat
Uitgevoerd door: Drs. Q.J. Lodder
Druk: Thieme Deventer
Document: RWS RIZA rapport 2007.025
ISBN 9789036914048

Samenvatting

Dit rapport is de achtergrond rapportage Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor de Meren (HR 2006).

De Meren bestaat uit het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer, Markermeer, Gooimeer, Eemmeer en de Eem. De hydraulische randvoorwaarden voor de Meren bestaan uit toetspeilen, het hydraulische-belastingniveau op de dijk en de maatgevende golfbelasting op de bekleding van de dijk. Het toetspeil is gedrukt weergegeven in het randvoorwaardenboek 2006. Het hydraulische-belastingniveau kan worden bepaald met het programma Hydra-M. De maatgevende golfbelasting op de dijkbekleding kan worden bepaald met Hydra-Q. Beide programma's zijn opgenomen op de DVD behorende bij het randvoorwaardenboek.

De HR 2006 voor de meren zijn voor het grootste deel overgenomen uit de HR 2001. Voor de omgeving van IJburg en de Eem zijn voor het eerst hydraulische randvoorwaarden afgeleid, deze zijn eveneens opgenomen in de HR 2006. De nieuwe randvoorwaarden sluiten aan op de reeds bestaande randvoorwaarden.

Dit rapport beschrijft de werkzaamheden die zijn verricht voor de Meren en geeft een overzicht van de verkregen resultaten.

Inhoudsopgave

Samenvatting iii

Inhoudsopgave v

Lijst van Figuren vii

Lijst van Tabellen ix

1. Inleiding 1

- 1.1 Doel rapport 1
- 1.2 Doelgroep 1
- 1.3 Leeswijzer 1

2. Projectbeschrijving 3

- 2.1 Kader en doelstelling 3
 - 2.1.1. Kader 3
 - 2.1.2. Doelstelling 3
- 2.2 Geschiedenis van HR op de Meren 3
 - 2.2.1. HR 1996 3
 - 2.2.2. OOM-Studie 4
 - 2.2.3. HR 2001 4
 - 2.2.4. Onderzoek hoogwaterstanden op de Eem 5
 - 2.2.5. Hydraulische randvoorwaarden voor IJburg 5
- 2.3 Vernieuwingen in HR 2006 voor de Meren 5
- 2.4 Vaststelling van Hydraulische Randvoorwaarden 6
- 2.5 Organisatie en communicatie 6
 - 2.5.1. Aansturing 6
 - 2.5.2. Watersysteemgroep Meren 6

3. Globale beschrijving van de Meren 9

- 3.1 De Meren in de Wet op de waterkering 9
- 3.2 Hydrodynamica en belastingen op waterkeringen 11

4. De rekenwijze 13

- 4.1 Overzicht rekenwijze 13
 - 4.1.1. Hydra filosofie (voor zoete wateren) 13
 - 4.1.2. Hydra structuur 14
- 4.2 Gebiedsinformatie 15
 - 4.2.1. IJburg 16
 - 4.2.2. Eem 18
 - 4.2.3. Kalibratie en Validatie schematisaties 20
- 4.3 Productie Berekeningen Fysica en het vullen van de database 23
 - 4.3.1. Windverloop 23
 - 4.3.2. Afvoer van de Eem 28

4.3.3.	Productie berekeningen waterstanden	30
4.3.4.	Productieberekeningen golven	33
4.3.5.	Uitvoerlocaties	36
4.3.6.	Vullen van de Hydra database	38
4.4.	Statistiek	39
4.5.	Dijk informatie	41
4.6.	De probabilistische berekening met Hydra-M en Hydra-Q	42
4.6.1.	Beknopte beschrijving Hydra-M	42
4.6.2.	Beknopte beschrijving Hydra-Q	44
4.7.	Uitvoer	44
4.8.	Controle hydraulische randvoorwaarden	45
4.9.	Overzicht modellen	46
5.	De resultaten van HR 2006	49
5.1.	De hoofdproducten	49
5.1.1.	Het boek	49
5.1.2.	De rekenmodellen Hydra-M en Hydra-Q	49
5.1.3.	Waterstanden voor geotechnische faalmechanismen	50
5.1.4.	Waterstandsverlopen	50
5.2.	De HR 2006	50
5.2.1.	Toetspeilen	50
5.2.2.	Hydraulische-belastingniveau	54
5.2.3.	Golfbelasting op bekledingen	56
5.3.	Vergelijking HR 2006 met HR 2001	57
5.3.1.	IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer, Markermeer, Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw	57
5.3.2.	IJburg	57
5.3.3.	Eem	59
6.	Gevoeligheidsanalyses	61
6.1.	Inleiding	61
6.2.	Aanwezigheid en hoogte regionale keringen	61
6.3.	Gevoeligheid voor afvoer van de Eem	62
7.	Conclusies en aanbevelingen	63
7.1.	Conclusies	63
7.2.	Aanbevelingen	63
7.2.1.	Inhoudelijk	63
7.2.2.	Wensen	63
8.	Referenties	65
Bijlage A	Toetspeilen	67
Bijlage B	Overzicht decimeringshoogten	75

Lijst van Figuren

-
- | | |
|-----------|---|
| Figuur 1 | Dijkkringgebieden met de bijbehorende veiligheidsnorm. 10 |
| Figuur 2 | Schematische voorstelling van een bedreigende situatie met opwaaiing en golfaanval. 12 |
| Figuur 3 | Vereenvoudigd schema werking Hydra's. 14 |
| Figuur 4 | Geactualiseerde elementen in de schematisatie van de waterbeweging van de omgeving van IJburg. 17 |
| Figuur 5 | Visualisatie van de toegepaste SWAN schematisatie. De rode lijnen geven de grenzen van het hele en het geneste rekenrooster, de rode lijnen de uitvoerlocaties 18 |
| Figuur 6 | Geactualiseerde elementen in de schematisatie van de waterbeweging van de Eem. 19 |
| Figuur 7 | Voorbeeld met gemeten en berekende waterstanden voor de storm van 24 – 28 oktober 2002 bij de Houtribsluizen. 21 |
| Figuur 8 | Afwijking berekende piekperiode t.o.v. gemeten piekperiode. Links zonder en rechts met aangepaste white-capping formulering. 22 |
| Figuur 9 | Windschematisatie HR006. 26 |
| Figuur 10 | Berekende waterstanden op het Gooi- en Eemmeer voor zowel HR2006 en de OOM-studie. 27 |
| Figuur 11 | Gevoeligheid waterstanden op de Eem voor het meerpeil, windsnelheid en afvoer van de Eem. 29 |
| Figuur 12 | Overschrijdingsfrequentielijn van de Eemafvoer bij Amersfoort en de metingen. 30 |
| Figuur 13 | Gemeten waarden van het Meerpeil en de Afvoer op de Eem bij Eemdijk. 30 |
| Figuur 14 | Voorbeeld van een momentaan waterstandsveld als gevolg van een windsnelheid van 30 m/s een initieel meerpeil van 0.3 m +NAP en een windrichting van 60°. 31 |
| Figuur 15 | Voorbeeld Maximaal waterstandsveld op de Eem als gevolg van een windsnelheid van 28 m/s een initieel meerpeil van -0.4 m +NAP en een windrichting van 330°. 31 |
| Figuur 16 | Trends in waterstanden bij toenemende windsnelheid bij een meerpeil van -0.4 m +NAP en een wind met richting 30°. 32 |
| Figuur 17 | Locaties van in figuur 16 beschreven trends in de waterstand. 33 |
| Figuur 18 | Voorbeeld ruimtelijke verdeling significante golfhoogte H_s en golfperiode T_{m01} bij een Meerpeil van 1.3 m+ NAP een windsnelheid van 42 m/s en een windrichting van 330°. 34 |

Figuur 19	Randvoorwaardenlocaties HR2006. De blauwe driehoeken zijn locaties waar de HR worden overgenomen uit de HR2001. De groene bolletjes zijn nieuwe locaties. De groene vierkanten zijn nieuw uitgeleverde locaties uit de HR2001. 38
Figuur 20	Frequentielijn meerpeil Markermeer. 39
Figuur 21	Overschrijdingduurlijn Markermeer. 40
Figuur 22	Terugkeertijden windsnelheid per windrichting. 41
Figuur 23	Voorbeeld van een schematisatie van een 1 op 4 profiel in Hydra-M. 42
Figuur 24	Rekenmethode Hydra-M Vereenvoudigde rekenmethode van Hydra-M voor een fictief voorbeeld. 44
Figuur 25	Voorbeeld van een overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand bij de monding van de Eem. 46
Figuur 26	Onafgeronde toetspeilen op de Eem. 52
Figuur 27	Waterstandoverschrijdings-frequentielijnen voor de Eem. De individuele lijnen komen overeen met de afstand in km vanaf de monding van de Eem. 52
Figuur 28	Onafgeronde toetspeilen in de omgeving van IJburg behorende een frequentie van 1/4000. 53
Figuur 29	Fictieve hydraulische-belastingniveaus voor de Eem, in meters boven NAP. 55
Figuur 30	Fictieve Hydraulische-Belastingniveaus IJburg. 56
Figuur 31	Vershil in toetspeilen bij IJburg. 58
Figuur 32	Vershil in fictieve hydraulische-belastingniveaus in meters. 59
Figuur 33	Vergelijking toetspeilen HR2006 en hoogwaterstanden op de Eem. 60
Figuur 34	Decimeringshoogte Meerpeil (Dm) uitgedrukt in meters. 77
Figuur 35	Decimeringshoogte waterstand (Dw) uitgedrukt in meters. 78
Figuur 36	Decimeringshoogte Hydraulische-belastingniveau (Dg) uitgedrukt in meters. 79

Lijst van Tabellen

Tabel 1	Dijkkringgebieden langs de Meren. 9
Tabel 2	Verbindende waterkeringen langs de Meren. 9
Tabel 3	Overzicht Hydra-Modellen. 13
Tabel 4	Windsnelheden Markermeer. 23
Tabel 5	Meerpeilen Markermeer. 23
Tabel 6	Windverloop HR2006. 25
Tabel 7	Afvoerstatistiek van de Eem. Afvoerstatistiek afgeleid uit de jaar maxima uit de periode 1990-2004. 29
Tabel 8	Gebruikte modellering IJburg. 47
Tabel 9	Gebruikte modellering Eem. 47
Tabel 10	Overzicht modellering HR2006. 48
Tabel 11	Toetspeilen HR2006 voor locaties langs het IJsselmeer. 67
Tabel 12	Toetspeilen HR2006 voor het Markermeer. 70
Tabel 13	Toetspeilen HR2006 voor IJburg Normfrequentie 1/4000. 73
Tabel 14	Toetspeilen HR2006 IJburg, Normfrequentie 1/1250. 74
Tabel 15	Toetspeilen HR2006 nabij IJburg, Normfrequentie 1/10.000. 74
Tabel 16	Toetspeilen HR2006 Eem, Normfrequentie 1/1250. 74

1. Inleiding

1.1 Doel rapport

Dit rapport heeft tot doel het inzichtelijk en navolgbaar vastleggen van de gegevens waarmee en de wijze waarop de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (HR 2006) voor de Meren zijn bepaald en vastgelegd in het Randvoorwaardenboek (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007).

Dit rapport beoogt geen volledige beschrijving van alle aspecten van de HR 2006 te geven; het rapport geeft een samenvatting van de belangrijkste informatie en dient als informatiebrug tussen het Randvoorwaardenboek 2006 en de project documenten.

1.2 Doelgroep

Deze rapportage is bedoeld voor:

- Gebruikers van HR 2006 met inhoudelijke belangstelling;
- Beheerders van de HR (hydraulische randvoorwaarden) (Rijkswaterstaat, Deltares); en
- Ontwikkelaars van de HR en verwante gereedschappen in het kader van veiligheid tegen overstromen: bijvoorbeeld PC-Ring en HIS;

Voor het lezen van dit rapport is algemene achtergrondkennis nodig van:

- De toetsfilosofie; en
- Waterstanden, golven, kansen en probabilistisch rekenen

1.3 Leeswijzer

Dit rapport geeft in hoofdstuk 2 de projectbeschrijving. Hoofdstuk 3 geeft een algemene beschrijving van de Meren. In hoofdstuk 4 wordt de rekenmethode van de HR 2006 beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de resultaten gepresenteerd. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses worden besproken in hoofdstuk 6. Tot slot geeft hoofdstuk 7 de conclusies die kunnen worden getrokken op basis van de HR 2006 en enkele aanbevelingen ten behoeve van de HR 2011.

Op de bijgevoegde CD zijn de onderliggende rapporten opgenomen.

2. Projectbeschrijving

2.1 Kader en doelstelling

2.1.1. Kader

In de Wet op de Waterkering staat dat de minister van Verkeer en Waterstaat elke vijf jaar hydraulische randvoorwaarden publiceert ten behoeve van het toetsen van de veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland. De hydraulische randvoorwaarden zijn vastgesteld in 2007, en aangeduid als 'Hydraulische Randvoorwaarden 2006' (HR 2006). De HR 2006 bestaan uit een boek en een DVD met computerprogramma's. De HR 2006 wordt gebruikt in de 3^e toetsronde (2006-2011).

2.1.2. Doelstelling

De doelstelling van het project HR 2006 is het afleiden van de hydraulische randvoorwaarden 2006 voor de Meren. Het voorgaande impliceert echter niet dat voor het hele merengebied opnieuw randvoorwaarden dienen te worden afgeleid. Uiteindelijk is gekozen voor een beperkte vernieuwing, namelijk om alleen voor IJburg en de Eem nieuwe randvoorwaarden af te leiden. Deze beslissing is mede gebaseerd op reeds beschikbare rapporten. Deze rapporten worden in paragraaf 2.2 toegelicht, waarna in paragraaf 2.3 de beslissing voor een beperkte vernieuwing uitgebreid wordt gemotiveerd.

Opgemerkt wordt dat in HR 2006 ook de Hydra-programmatuur is geactualiseerd. De volgende verbeteringen zijn doorgevoerd: opname vernieuwde voorlandmodule, opname PC-Overslag, verbeterde gebruikersschil en documentatie. De genoemde verbeteringen zijn niet binnen dit project uitgevoerd en worden dan ook slechts beperkt besproken in dit rapport.

2.2 Geschiedenis van HR op de Meren

Deze paragraaf geeft een beknopt overzicht van de geschiedenis van de hydraulische randvoorwaarden op de Meren.

2.2.1. HR 1996

In 1996 zijn voor het eerst officiële hydraulische randvoorwaarden opgeleverd in het kader van de Wet op de waterkering. In de HR 1996 werden voor de primaire wateren langs het IJsselmeer nog minimaal benodigde kruinhoogten voorgeschreven. Deze minimaal benodigde kruinhoogten werden bepaald met het computer programma PEILOF (Directie Zuiderzeewerken en DBW/RIZA, 1986).

Vanwege de hoogwaterproblemen van 1993 en 1995 is in 1995 besloten de dijkversterkingen in het kader van het Deltaplan Grote Rivieren versneld uit te voeren. Voor de dijkversterkingen langs het IJsselmeer en Ketelmeer diende hiertoe PEILOF uitgebreid en geactualiseerd te worden. Destijds bevatte PEILOF echter reeds een verouderde statistische methode waardoor er besloten is PEILOF te vervangen door een volledig een nieuwe methode: Hydra-M.

In 1999 is Hydra-M vastgesteld voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden, zie RIZA (1999) en zijn de benodigde kruinhoogten uit 1996 vervallen. De nieuw met Hydra-M berekende hydraulische randvoorwaarden zijn wettelijk vastgelegd. Voor de dijkeringen grenzend aan het Markermeer, Gooimeer en Eemmeer zijn in HR 1996 geen hydraulische randvoorwaarden opgenomen omdat het Markermeer destijds niet werd geclassificeerd als buitenwater.

2.2.2. OOM-Studie

Bij de voorbereiding van de Wet op de waterkering uit 1996 kwam de vraag naar voren of het Markermeer aangemerkt moest worden als buitenwater. Naar aanleiding van deze vraag is in 1997 het Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, de OOM-studie, gestart. De OOM-studie had als doel adequate technische en bestuurlijke argumenten te leveren aan diegenen die uiteindelijk moeten beslissen of het Markermeer wel of niet als buitenwater in de Wet op de waterkering moest worden opgenomen.

De OOM-studie heeft er toe geleid dat het Markermeer is aangewezen als buitenwater.

Een van de bijproducten van de OOM-studie is een instrumentarium geweest gebaseerd op Hydra-M, waarmee een toetsing op veiligheid voor de waterkeringen langs het Markermeer zou kunnen worden uitgevoerd. Later is dit instrumentarium opgenomen in de HR 2001.

De resultaten van de OOM-studie staan beschreven in de deelrapporten behorende bij fase 1 t/m 5 van de OOM-studie (WL | Delft Hydraulics, 1997).

2.2.3. HR 2001

In 2001 zijn de in 1999 herziene randvoorwaarden voor het IJsselmeer en Ketelmeer opgenomen in de HR 2001. Door de aanwijzing van het Markermeer als buitenwater kreeg het Rijk de verplichting om hydraulische randvoorwaarden op te leveren voor het Markermeer, Gooimeer, Eemmeer, het Nijkerkernauw en de Eem. In HR 2001 zijn voor het eerst hydraulische randvoorwaarden opgenomen voor de vier eerst genoemde Meren. Deze randvoorwaarden zijn, na een extra kwaliteitsborging vanuit de randvoorwaarden optiek, overgenomen uit de OOM-studie.

De OOM-studie was met name gericht op het beantwoorden van de vraag of het Markermeer als buitenwater moest worden aangewezen. Om deze vraag te beantwoorden volstond een vrij globale modellering van het Markermeer. Daarbij werd weinig aandacht besteed aan de relatief moeilijk te modelleren en voor de doelstelling minder belangrijke omgeving van IJburg en de Eem. Dit heeft er toe geleid dat deze gebieden beperkt (IJburg) of niet (Eem) zijn opgenomen in de modellering. Als gevolg hiervan zijn voor deze gebieden geen HR opgenomen in de HR 2001.

2.2.4. Onderzoek hoogwaterstanden op de Eem

Naar aanleiding van de omissie van de Eem in de HR 2001, heeft Rijkswaterstaat DWW het WL (WL I Delft Hydraulics, 2000) gevraagd een benadering van de hoogwaterstanden op de Eem te geven. De hieruit volgende resultaten zijn gebruikt als representatieve hydraulische randvoorwaarden voor de tweede toetsronde.

2.2.5. Hydraulische randvoorwaarden voor IJburg

In 1998 heeft het Ingenieurs Bureau Amsterdam aan WL I Delft Hydraulics gevraagd hydraulische randvoorwaarden te bepalen voor het ontwerp van IJburg. Dit heeft geresulteerd in een set ontwerprandvoorwaarden die tot op heden wordt gebruikt voor het ontwerp van IJburg. De ontwerprandvoorwaarden zijn door WL opgeleverd conform de opzet van Hydra-M.

2.3 Vernieuwingen in HR 2006 voor de Meren

Zoals in 2.1.2 is aangegeven bestaan de HR 2006 Meren uit de HR 2001 aangevuld met HR voor de omgeving van IJburg en de Eem. De motivatie hiervoor is als volgt geweest.

Met het uitkomen van de HR 2001 zijn voor de Meren grote stappen voorwaarts gezet t.o.v. het Randvoorwaardenboek 1996: een nieuwe probabilistische methode (Hydra-M), een nieuw golvenmodel (HISWA), een toets voor de bekledingen (Hydra-Q), en het Markermeer als nieuw buitenwater. Hiermee kenden de Meren de meest geavanceerde randvoorwaarden van Nederland.

Voor de HR 2006 Meren werden de belangrijkste nieuwe inzichten verwacht vanuit de golvenhoek: de invoering van het golvenmodel SWAN. Ten tijde van de start van het project HR 2006 werd echter niet meer verwacht dat SWAN binnen een paar jaar algemeen geaccepteerde randvoorwaarden zou gaan leveren voor alle Meren.

Naast de inzichten op het gebied van golven werden er nieuwe inzichten verwacht ten aanzien van de windstatistiek. Het windstatistiek onderzoek van het KNMI zou in 2003 tot een nieuwe windstatistiek leiden, waarvan de kwaliteit internationaal gewaarborgd zou moeten worden. Ingeschat werd dat de kwaliteitsborging te laat gereed zou zijn voor implementatie in HR 2006.

Al met al was de verwachting dat een herziening van de HR voor de Meren relatief weinig nieuwe inzichten zou opleveren en wel een behoorlijke inspanning zou vergen. Gekozen is daarom om voor IJburg en de Eem voor het eerst randvoorwaarden af te leiden en de HR voor de overige gebieden ongewijzigd over te nemen in de HR 2006.

Bij het afleiden van de HR 2006 voor de nieuwe gebieden, IJburg en de Eem, is gestreefd naar consistentie ten opzichte van de resultaten van de HR 2001 waarbij evidente fouten uit de HR 2001 zijn verholpen. Naast consistentie met de HR 2001 is voor zover mogelijk aansluiting gezocht bij de ontwerprandvoorwaarden IJburg en het onderzoek hoogwaterstanden op de Eem. De verschillen tussen de HR 2006 en de genoemde randvoorwaarden worden in dit rapport dan ook expliciet beschouwd.

2.4 Vaststelling van Hydraulische Randvoorwaarden

In dit rapport worden randvoorwaarden afgeleid die de actuele inzichten zo goed mogelijk weerspiegelen. Deze randvoorwaarden worden thermometerrandvoorwaarden genoemd. Nadat deze waren berekend is er een beleidsmatige afweging geweest (gerapporteerd in DWW, 2007) met de vraag of de berekende thermometerrandvoorwaarden als hydraulische randvoorwaarden zouden moeten worden vastgesteld. De beleidsmatige afweging heeft er voor de meren in geresulteerd dat alle berekende thermometerrandvoorwaarden zijn vastgesteld als hydraulische randvoorwaarden. Ten behoeve van de leesbaarheid wordt in dit rapport dan ook eenvoudigheidshalve gesproken over hydraulische randvoorwaarden, in plaats van thermometerrandvoorwaarden.

2.5 Organisatie en communicatie

2.5.1. Aansturing

Het project HR 2006 meren is uitgevoerd in opdracht van het Directoraat Generaal Water (DGW). De Dienst Weg- en Waterbouw (RWS DWW) is de hoofdopdrachtnemer binnen Rijkswaterstaat. De werkzaamheden zijn door RWS DWW gedelegeerd aan RWS RIZA. Binnen het project hydraulische randvoorwaarden is de TC-Rand het besluitvormende orgaan. In de TC-Rand zijn vertegenwoordigd: DGW, de Specialistische Diensten van RWS en de Unie van Waterschappen. Het Expertise Netwerk Waterkeren (ENW) fungeert als extern kwaliteitsborgend orgaan.

2.5.2 Watersysteemgroep Meren

Het project HR 2006 Meren is mede begeleid door de watersysteemgroep Meren. De watersysteemgroep heeft tot doel draagvlak voor de hydraulische randvoorwaarden te creëren. Hiertoe zijn de bij de HR betrokken organisaties in een vroeg stadium betrokken bij het project. De watersysteemgroep Meren heeft naast een functie als communicatie platform ook een belangrijke

kwaliteitsborgende functie gehad. Op verschillende momenten tijdens het project zijn de concept randvoorwaarden en de verschillen met de bestaande randvoorwaarden in de watersysteemgroep Meren besproken. De verschillen zijn verklaard en geaccepteerd door watersysteemgroep.

In de watersysteemgroep Meren zijn vertegenwoordigd:

- Provincie Flevoland
- Provincie Fryslân
- Provincie Noord-Holland
- Provincie Utrecht

- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
- Wetterskip Fryslân
- Waternet (Waterschap Amstel, Gooi en Vecht)
- Waterschap Vallei en Eem
- Waterschap Zuiderzeeland

- RWS IJsselmeergebied (voorzitter)
- RWS RIZA (secretaris)

- Gemeente Amsterdam (Ingenieurs Bureau Amsterdam)

3. Globale beschrijving van de Meren

3.1 De Meren in de Wet op de waterkering

Hydraulisch kunnen de Meren opgedeeld worden in drie groepen:

1. IJsselmeer, Ketelmeer en Vossemeer;
2. Markermeer, Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw;
3. de Randmeren (Wolderwijd, Veluwemeer en het Drontermeer).

De eerste twee zijn in de Wet op de Waterkering geclassificeerd als buitenwater. De derde groep behoort tot de regionale wateren. Hydraulische Randvoorwaarden worden alleen afgeleid voor het buitenwater, dus voor de eerste twee genoemde groepen wateren. De dijkkringgebieden en de verbindende waterkeringen waarvoor hydraulische randvoorwaarden zijn afgeleid zijn weergegeven in Tabel 1 en Tabel 2.

Tabel 1

Dijkkringgebieden langs de Meren.

Dijkkringgebied	Normfrequentie	Naam	Buitenwater
6	1/4000	Friesland en Groningen	IJsselmeer
8	1/4000	Flevoland	Vossemeer, Ketelmeer, IJsselmeer, Markermeer, Gooimeer, Eemmeer, Nijkerkernauw
11	1/2000	IJsseldelta	Vossemeer
12	1/4000	Wieringen	IJsselmeer
13	1/10.000	Noord-Holland	IJsselmeer, Markermeer
13a	1/4000	IJburg	Markermeer
13b	1/1250	Marken	Markermeer
44	1/1250	Kromme Rijn	Markermeer, Gooimeer
45	1/1250	Gelderse vallei	Eemmeer, Nijkerkernauw
46	1/1250	Eempolder	Eemmeer

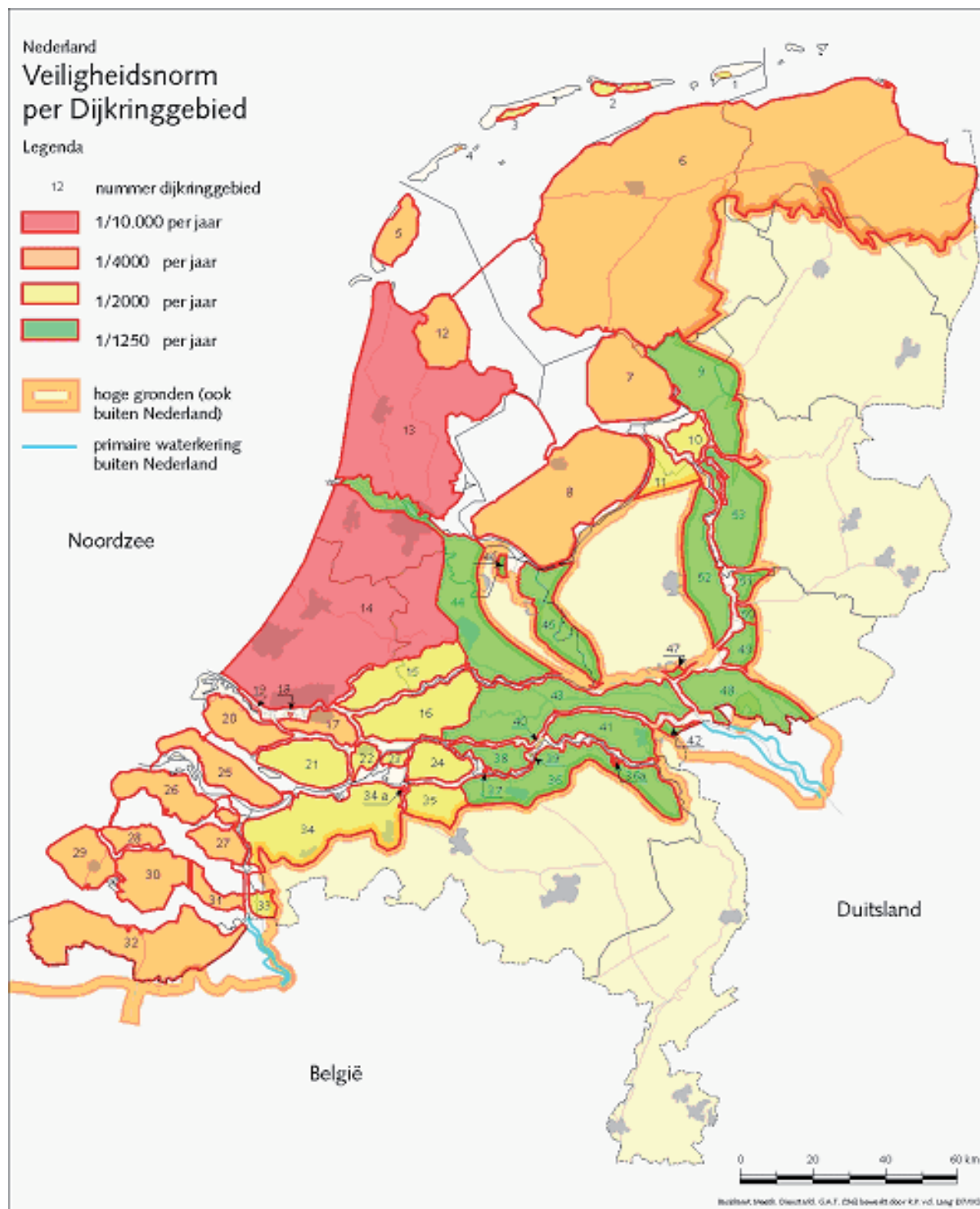
Tabel 2

Verbindende waterkeringen langs de Meren.

Verbindende waterkering	Normfrequentie	Naam	Buitenwater
3	1/4000	Roggebotsluis	Vossemeer
4	1/10000	Houtribdijk	IJsselmeer, Markermeer
5	1/4000	Nijkerkersluis	Nijkerkernauw

.....
Figuur 1

Dijkkringgebieden met de
bijbehorende veiligheidsnorm.



3.2 Hydrodynamica en belastingen op waterkeringen

Voor de toetsing van de waterkerende hoogte van een dijk ergens langs de Meren is het noodzakelijk te beschikken over een betrouwbare frequentieverdeling van de belasting als gevolg van waterstand en golven. Naast een frequentieverdeling van de belasting is de veiligheidsnorm benodigd. De veiligheidsnorm is in de Wet op de waterkering voorgeschreven als de gemiddelde overschrijdingskans – per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de primaire waterkering moet zijn berekend. In het kader van de toetsing is dit vertaald naar de gemiddelde overschrijdingskans per jaar van het hydraulische-belastingniveau waarbij de dijk nog juist standzeker is. Langs de Meren zijn 4 normen van toepassing, te weten 1/1250, 1/2000, 1/4000 en 1/10000 keer per jaar.

Op de Meren worden extreme waterstanden veroorzaakt door combinaties van een hoog meerpeil en sterke opwaaiing als gevolg van een storm. Het meerpeil is de over het gehele meer, gemiddelde waterstand. Hoge meerpeilen duren relatief lang, van dagen tot weken, terwijl stormen relatief kort van duur zijn, enkele uren tot een dag. Het IJsselmeerpeil hangt via de IJsselafvoer sterk samen met de neerslag in het stroomgebied van de Rijn en in mindere mate met de uitslag van de polder gemalen en de afvoer van de Overijsselse Vecht. Hoge IJsselmeerpeilen zijn vooral het gevolg van een hoge IJsselafvoer in combinatie met langdurige stremming van lozing op de Waddenzee ten gevolge van harde wind uit noord tot noordwestelijke richtingen, met opwaaiing aan de buitenzijde van de Afsluitdijk. Hierdoor neemt de vullingsgraad van het IJsselmeer toe en stijgt het meerpeil soms tot ver boven het streefpeil. Voor het Markermeer geldt hetzelfde, echter de meerpeilen worden met hier met name bepaald door lokale neerslag en de (on)mogelijkheden van spuien via het Noordzeekanaal en op het IJsselmeer.

Het golfklimaat wordt in het algemeen bepaald door de windsnelheid, de strijklengte waarover de wind vat heeft op het wateroppervlak en door de waterdiepte. Tijdens een storm kunnen hoge golven ontstaan die tegen het buitentalud van de dijk oplopen (golfoploop), over de kruin slaan (golfoverslag) en de dijk kunnen beschadigen. Deze golfoverslag is een belangrijke hydraulische belasting van de dijk. Ze hangt, gegeven de hydraulische condities, in belangrijke mate af van het aanwezige dijkprofiel. Een ondiep voorland en of een golfbreker kunnen sterk reducerend werken op de golfaanval en de resulterende golfoverslag. Figuur 2 toont een schematische voorstelling van een bedreigende situatie voor de Meren.

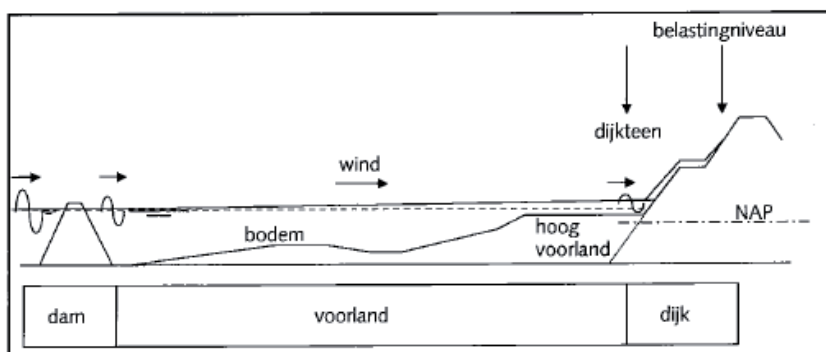
De waterdiepte is een beperkende factor voor de golfgroei. Goede gegevens van waterdiepte zijn van groot belang. Dit betekent dat zowel het ruimtelijke patroon van de waterstand over de Meren als van de bodemligging voldoende nauwkeurig bekend dienen te zijn.

Tot nu toe zijn in het Merengebied nog nooit de maatgevende hydraulische omstandigheden voorgekomen zoals die voortvloeien uit

de geldende veiligheidsnormen. Het gedrag van de waterbeweging en de golven onder dergelijke extreme omstandigheden zijn daarom niet rechtstreeks bekend. Derhalve wordt er gebruik gemaakt van statistische extrapolatie en numerieke rekenmodellen om de hydraulische randvoorwaarden te bepalen.

Figuur 2

Schematische voorstelling van een bedreigende situatie met opwaaiing en golfaanval.



4. De rekenwijze

4.1 Overzicht rekenwijze

4.1.1. Hydra filosofie (voor zoete wateren)

Hydra is de familienaam van een groep computermodellen die de dijkbeheerders dienen toe te passen bij het toetsen van hun primaire waterkeringen. Hydra bepaalt namelijk de hydraulische belasting waarop de dijk getoetst moet worden.

Hydra is met name ontwikkeld voor waterkeringen waarvoor combinaties van bedreigingen van belang zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een waterkering bij Kampen die bedreigd wordt door a) een zeer hoge IJsselafvoer gecombineerd met een matige wind (geringe opwaaiing vanuit het IJsselmeer) of door b) een gematigde IJsselafvoer gecombineerd met zware storm (grote opwaaiing vanuit het IJsselmeer) ... en natuurlijk door alle combinaties daartussenin!

Ieder watersysteem heeft een eigen kenmerkende combinatie van bedreigingen. Daarom is tot nu toe voor ieder watersysteem een aparte Hydra gemaakt. Het toepassingsgebied wordt aangeduid met de letter achter de Hydra, zoals bij Hydra-M voor Meren (IJsselmeergebied). Voor de meren is een apart model beschikbaar voor het berekenen van randvoorwaarden voor bekledingen: Hydra-Q.

Voor het watersysteem 'bovenrivieren' is vooralsnog geen probabilistisch Hydra beschikbaar. Wel is Hydra-R ontwikkeld waarmee deterministisch het overslagdebiet kan worden bepaald (opgenomen in de HR 2006). Voor de kust is de set aan Hydra's nog niet geheel compleet. Voor de Waddenzee, Zeeuwse delta en de duinen is nog geen Hydra beschikbaar.

Een overzicht van de beschikbare Hydra's wordt gegeven in Tabel 3.

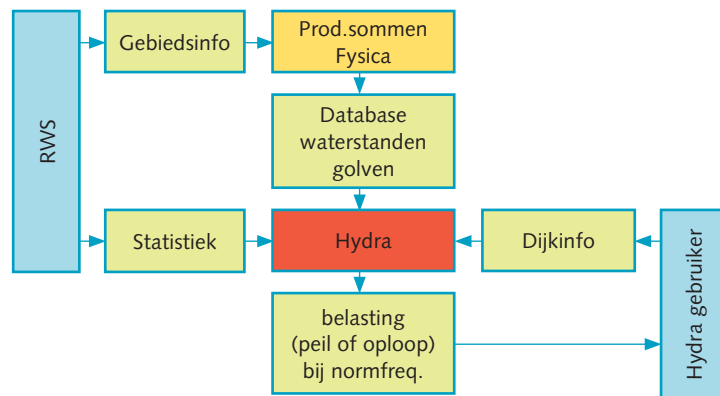
Tabel 3
Overzicht Hydra-Modellen.

Model	Gebied
Hydra-K	Bedijkte Kust: zoute wateren
Hydra-M, -Q	IJsselmeer; Markermeer
Hydra-B	Benedenrivieren
Hydra-VIJ	Vecht- en IJsseldelta
Hydra-R	Bovenrivieren

4.1.2. Hydra structuur

Onderstaand schema geeft de basisopzet van de probabilistische Hydra-modellen.

Figuur 3
Vereenvoudigd schema werking
Hydra's.



Het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden begint bij het verzamelen en vaststellen van de gebiedsinformatie. De verzamelde gebiedsinformatie wordt verwerkt in een schematisatie voor zowel waterstanden als golven. De gemaakte schematisaties worden gekalibreerd met behulp van geselecteerde kalibratie cases. Na de kalibratie worden de schematisaties (indien nodig) aangepast aan de huidige situatie¹.

Naast het kalibreren van de schematisaties moet bepaald worden welke bedreigingen een rol spelen in het betreffende watersysteem. Voorbeelden van bedreigingen zijn de wind (waarbij richting en snelheid van belang zijn), de afvoer van de Rijn, de zeewaterstand maar ook het falen van de stormvloedkeringen. De voor het betreffende watersysteem relevante bedreigingen bepalen welke statistieken benodigd zijn. Tevens bepalen de bedreigingen de opbouw van het probabilistisch model (Hydra) en de benodigde productie berekeningen.

De statistiek van de bedreigingen wordt bepaald aan de hand van meetreeksen. Afhankelijk van het watersysteem is bijvoorbeeld statistiek benodigd van: de wind (snelheid en richting), het meerpeil, de afvoer of de zeewaterstand. Bij het bepalen van de statistiek is het belangrijk de correlaties tussen de bedreigingen mee te nemen in de analyses. Voor de hydraulische randvoorwaarden kan voor de te gebruiken statistieken een beroep gedaan op de reeds in Nederland aanwezige kennis. Zo is de windstatistiek overgenomen van het KNMI (Wieringa en Rijkooft, 1993).

¹ Een voorbeeld: voor de HR 2006 is de schematisatie van de Rijn gekalibreerd op (onder andere) het hoogwater en de rivier situatie van 1995. Vervolgens is de schematisatie aangepast naar de huidige situatie.

Nadat de schematisaties gemaakt en gekalibreerd zijn, de benodigde statistiek bepaald is en de probabilistische Hydra modellen gereed zijn worden de productie berekeningen gestart. De productie berekeningen dienen er toe een zo compleet mogelijke beschrijving te geven van de mogelijke maximale waterstanden en golven voor een groot scala aan omstandigheden. Hierbij worden er waterstanden en golven voor zowel extreme als naar meer dagelijkse omstandigheden berekend. Het aantal productie berekeningen verschilt per watersysteem. Afhankelijk van het aantal bedreigingen en de discretisaties (stapgrootte) zijn dit enkele honderden (Meren) tot duizenden (Vecht- en IJsseldelta) productieberekeningen. Alle productie berekeningen tezamen vormen de database waterstanden en golven, ook wel de database fysica genoemd.

Ten behoeve van de productie berekeningen kan het zijn dat nog aanvullende gegevens benodigd zijn. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld het te gebruiken geschematiseerde windverloop en de grootte van laterale toevoeren.

Tot slot volgt de berekening met Hydra. Resultaten van de berekeningen bestaan uit toetspeilen, het hydraulische-belastingniveau op de dijk en de maatgevende golfbelasting op de bekleding van de dijk. Het toetspeil kan met Hydra berekend worden zonder informatie over het dijkprofiel. Het hydraulische-belastingniveau op de dijk en de maatgevende golfbelasting kunnen ook met Hydra worden bepaald, daarvoor is echter wel aanvullende informatie over het aanwezige dijkprofiel benodigd. Deze aanvullende informatie bestaat uit ondermeer de hoogte van eventuele voorlanden, de bekledingsruwheid en de taludhelling. De dijk informatie wordt door de gebruiker in Hydra ingevoerd. Op deze wijze voegt de gebruiker zijn gebiedskennis toe aan het toetsingsproces.

De komende paragrafen bespreken de werkzaamheden die zijn uitgevoerd ten behoeve de HR 2006 voor de Meren. Hierbij worden de stappen uit het schema van de Hydra structuur doorlopen (Figuur 3).

4.2 Gebiedsinformatie

Voor de HR 2006 zijn nieuwe randvoorwaarden opgesteld voor IJburg en de Eem. Voor de overige meren zijn de HR 2006, en daarmee de gebruikte gebiedsinformatie, identiek aan de HR 2001. De voor HR 2001 gebruikte gebiedsinformatie staat beschreven in RIZA (1999) resp. WL I Delft Hydraulics (1997) voor IJsselmeer resp. Markermeer. Voor de HR 2006 zijn de omgeving van IJburg en de Eem geschematiseerd in het waterbewegingsmodel WAQUA en de golfmodellen SWAN (IJburg) en Bretschneider (Eem).

De basis van de gebruikte WAQUA-schematisatie ligt in de OOM-studie(WL,1997). Daarin is een Delft-2d schematisatie ontwikkeld, die later, ten behoeve van RWS, is omgezet in een WAQUA schematisatie. Ten behoeve van onderhavig project is de WAQUA-schematisatie van het Markermeer omgezet in Baseline en uitgebreid met de Eem. De omgeving van IJburg is meer gedetailleerd in de schematisatie opgenomen.

De schematisaties van de golfmodellen zijn direct afgeleid van de WAQUA schematisatie. De schematisaties voor de berekening van de waterstanden resp. de golven zijn derhalve vrijwel identiek.

In de volgende paragrafen 4.2.1 en 4.2.2 is een korte beschrijving gegeven van wijze van schematiseren van beide gebieden.

4.2.1. IJburg

In de zuid-westelijke hoek van het Markermeer wordt door de gemeente Amsterdam de nieuwe wijk IJburg ontwikkeld. IJburg bestaat uit eilanden die worden opgespoten in het Markermeer. Uiteindelijk zal IJburg uit 9 eilanden bestaan. De eilanden worden door middel van bruggen met elkaar en het vaste land verbonden.

Schematisatie Waterbeweging

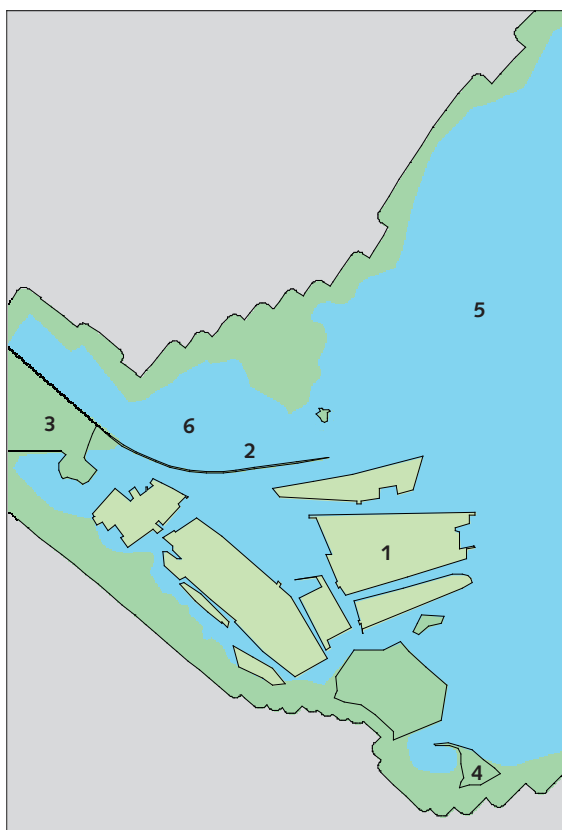
De verfijnde schematisatie van IJburg en de nieuwe schematisatie van de Eem zijn opgenomen in de WAQUA-schematisatie van het Markermeer. In Figuur 4 zijn met cijfers de belangrijkste geactualiseerde elementen met betrekking tot IJburg aangegeven. Hieronder volgt per element een beschrijving van de opgenomen gebiedsinformatie.

1. De eilanden van IJburg zijn als hoogwater vrije gebieden opgenomen in de schematisatie. De eilanden zijn opgenomen zoals ze er naar verwachting bij liggen als IJburg is voltooid. Op het moment dat de schematisatie werd gemaakt was het de verwachting dat alle eilanden van IJburg gedurende de 3^e toetsronde gereed zouden komen.
2. De scheepvaartgeleide dam ten noorden van IJburg is als een ononderbroken overstroombare dam in de schematisatie opgenomen. Anno 2006 is het de verwachting dat de dam gedeeltelijk zal worden verwijderd ten behoeve van de recreatievaart. Op het moment dat de schematisatie werd gemaakt was dit nog onzeker.
3. Het schiereiland Zeeburg is als hoogwatervrij gebied opgenomen in de schematisatie. Het schiereiland Zeeburg is thans nog buitendijks gebied zal naar verwachting worden toegevoegd aan dijkkring 13 en daarmee de status van buitendijksgebied verliezen. De hoeveelheid water die op basis van de huidige geometrie op Zeeburg geborgen kan worden is zeer beperkt. Vooruitlopend op de toevoeging van Zeeburg aan dijkkring 13 is besloten Zeeburg als hoogwatervrij op te nemen in de schematisatie.
4. De buitendijkse gebieden langs het Markermeer zijn opgenomen in de schematisatie. De regionale keringen die deze gebieden omsluiten zijn als overstroombare "schotjes" in de schematisatie opgenomen.
5. De bodemhoogte van het Markermeer in de schematisatie is geactualiseerd met de meest recente lodinggegevens van RWS IJG. De gebruikte bodem komt voort uit lodingen uit de periode 1996 tot 2004 (RWS IJG, 2005).

- De celgrootte van WAQUA is voor de gehele omgeving van IJburg sterk verkleind ten opzichte van het oorspronkelijke model. Door deze verdichting kan de waterbeweging in dit complexe gebied beter beschreven worden.

Figuur 4

Geactualiseerde elementen in de schematisatie van de waterbeweging van de omgeving van IJburg.



Schematisatie Golven

Voor het berekenen van de golven voor IJburg is het golfmodel SWAN toegepast. Alle in de WAQUA schematisatie opgenomen elementen zijn, op het rekenrooster na, op identieke wijze overgenomen in de schematisatie voor SWAN.

Het uitvoeren van productieberekeningen met SWAN is een rekenintensieve taak. De rekestijd van SWAN hangt sterk af van de grootte van het rekenrooster. Aangezien er voor de HR 2006 alleen voor IJburg golftrandvoorwaarden met SWAN benodigd zijn is er gezocht naar een aangepast rekenrooster. Hiertoe is in het onderzoek "advies golftrandvoorwaarden IJburg" (Witteveen en Bos, 2004) een vergelijking gemaakt tussen golfberekeningen met een rekenrooster voor gehele Markermeer en met een kleiner rooster voor alleen het Zuidelijke Markermeer. Uit dit onderzoek blijkt dat indien de rand van het kleinere rekenrooster ter hoogte van Marken wordt gelegd de verschillen, in de omgeving van IJburg, tussen beide roosters kleiner zijn dan 1%. Hierbij geldt als randvoorwaarde dat als modelrand de golftrandvoorwaarden uit Hydra-M (HR 2001) worden opgelegd. Op basis van het genoemde onderzoek is er voor gekozen een klein rekenrooster toe te passen. Aanvullend is tevens een nesting bij IJburg

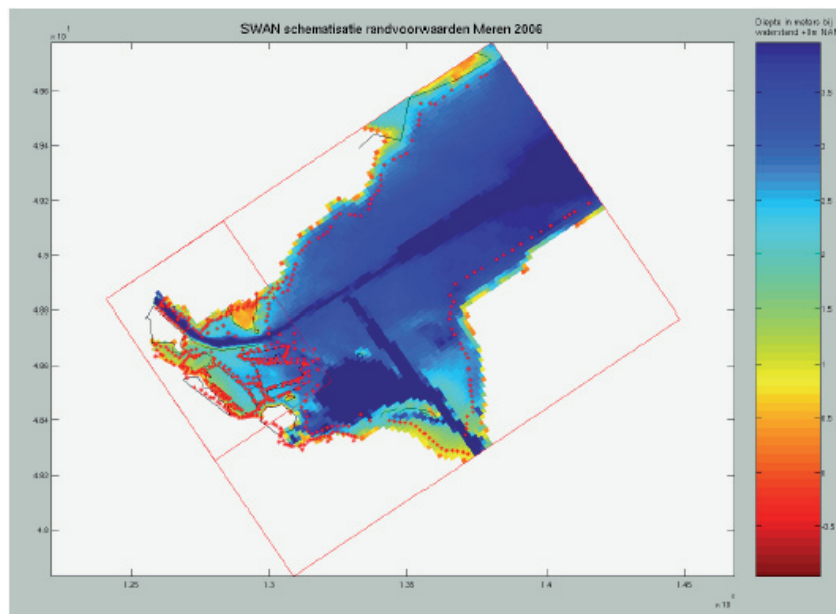
is toegepast om ook in het binnengebied van IJburg acceptabele golfrandvoorwaarden te kunnen berekenen.

In Figuur 5 is een visualisatie van de toegepaste SWAN-schematisatie gegeven. In de figuur zijn weergegeven: de afmetingen van de rekenroosters, de bodemhoogte en de locaties waar SWAN-uitvoer genereert. De wijze van vaststelling en de ligging van de uitvoerlocaties wordt nader besproken in paragraaf 4.3.5.

Naast een schematisatie zijn voor SWAN ook nog verschillende instellingen benodigd voor dat overgegaan kan worden overgegaan tot de productieberekeningen. De voor HR 2006 gebruikte SWAN instellingen worden behandeld in paragraaf Kalibratie en Validatie schematisaties 4.2.3.

Figuur 5

Visualisatie van de toegepaste SWAN schematisatie. De rode lijnen geven de grenzen van het hele en het geneste rekenrooster, de rode lijnen de uitvoerlocaties.



4.2.2. Eem

De Eem is een rivier die regenwater afvoert van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe naar het Eemmeer. De laatste 15 kilometer van de Eem ten noorden van Amersfoort worden gekenmerkt door enkele grote buitendijkse polders aan de westzijde van de Eem. Deze polders zijn ontstaan door de aanleg van waterkeringen die het gebied vroeger beschermen tegen het water van de Zuiderzee. Ondanks de aanleg van de regionale keringen overstromden deze buitendijkse gebieden bij zware storm regelmatig. Door de aanleg van de Afsluitdijk en de Flevopolders zijn de maatgevende waterstanden op de Eem sterk afgenomen. Desondanks kunnen de buitendijkse gebieden bij maatgevende omstandigheden nog steeds overstromen en hebben ze nog steeds de status van buitendijks gebied.

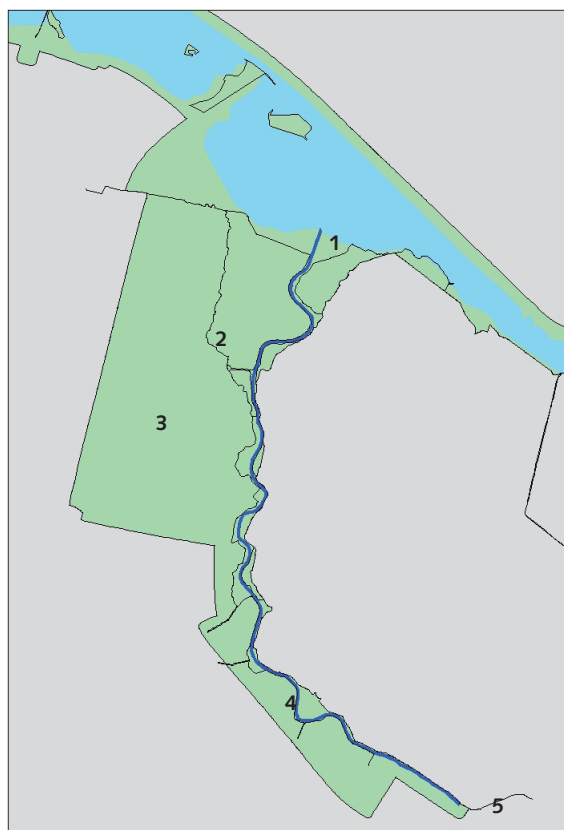
Schematisatie voor de Waterbeweging

De nieuwe schematisatie van de Eem is opgenomen in de bestaande WAQUA-schematisatie van het Markermeer. In Figuur 6 zijn met cijfers de belangrijkste elementen met betrekking tot de Eem aangegeven. Hieronder volgt per element een beschrijving van de opgenomen gebiedsinformatie.

1. De Eem plus de buitendijkse gebieden is toegevoegd aan de schematisatie. In de oorspronkelijke schematisatie was de Eem plus buitendijkse gebieden überhaupt niet aanwezig.
2. De regionale keringen zijn overstroombaar. De keringen hebben per dijktraject een uniforme hoogte gelijk aan de 10% onderscheden hoogte verkregen uit FlyMap gegevens van Waterschap Vallei en Eem (2006). De 10% onderscheden hoogte is in overleg met het waterschap gekozen omdat dit een goede representatieve minimale hoogte weergeeft. De indeling in dijktrajecten is beschreven in WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2006)
3. De bodemhoogte van de buitendijkse polders is geleverd door Waterschap Vallei en Eem. De bodemhoogte is representatief voor de situatie van 2004.
4. De bodemhoogte voor de gehele Eem is -3.8 m +NAP. De actuele bodemhoogte gegevens van de Eem zijn niet eenduidig en van beperkte kwaliteit. In overleg met de beheerder Provincie Utrecht is besloten de gehele Eem een diepte te geven gelijk aan de streefdiepte behorende bij de bagger profielen. Uit lodingen blijkt dat het de Eem overwegend dieper is dan de streefdiepte.
5. De Eem loopt in de schematisatie niet verder door dan Amersfoort. Bij Amersfoort wordt een constant debiet opgelegd.

.....
Figuur 6

Geactualiseerde elementen
in de schematisatie van de
waterbeweging van de Eem.



Schematisatie Golven

Op de Eem is de golfhoogte door de aanwezige korte strijklengten beperkt. Door de beperkte golfhoogte volstaat een 1 dimensionale berekening van de golven, derhalve zijn de 1d golfgroei formuleringen van Bretschneider toegepast.

Voor het uitvoeren van golfberekeningen met Bretschneider is informatie nodig met betrekking tot de bodemhoogte en ligging van de regionale waterkeringen. De hiertoe gebruikte gebiedsinformatie is, op de hoogte van de regionale keringen na, identiek aan de gegevens die zijn gebruikt voor de waterbeweging. Voor de golfberekeningen is, in tegenstelling tot de waterbewegingsberekeningen, gebruik gemaakt van oneindig hoge regionale keringen.

Gekozen is om in de berekening van de golven de regionale waterkering als oneindig hoog te beschouwen, omdat dit het beste de situatie onder maatgevende omstandigheden representeert. Onder maatgevende omstandigheden is de waterstand in de buitendijkse polders lager dan in de Eem en stroomt er water uit de Eem, over de regionale keringen, de buitendijkse polders in. De combinatie van beide maakt dat het onwaarschijnlijk is dat golven ontstaan in de buitendijkse gebieden zich voortplanten over de regionale keringen.

4.2.3. Kalibratie en Validatie schematisaties

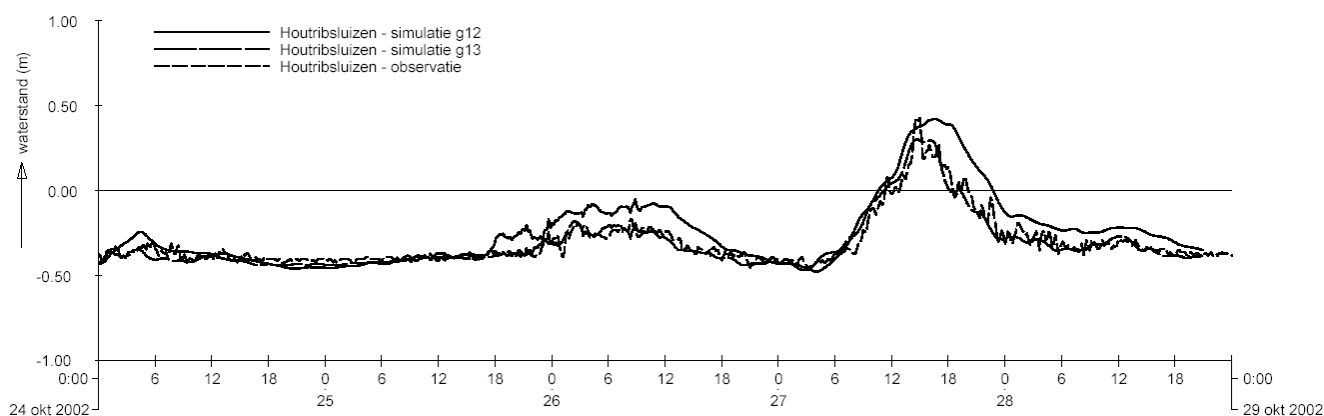
Na het maken en actualiseren van schematisaties voor de berekening van de waterbeweging en golven dient er in principe een kalibratie en een validatie plaats te vinden. Gezien de beschikbaarheid van een gekalibreerde WAQUA-schematisatie voor het Markermeer en de onduidelijkheden rond het toe te passen windveld, is voor de waterbeweging een andere aanpak gevolgd. Deze paragraaf behandelt de kalibratie en validatie van de schematisaties.

WAQUA

De geactualiseerde WAQUA schematisatie is, zonder verdere kalibratie, gevalideerd. Experts gaven namelijk aan dat de schematisatie weinig gevoelig zou zijn voor de gebruikelijke kalibratieparameters als bodemruwheid. Gevalideerd is op 7 stormen uit de periode 1999 tot 2002. De stormen zijn geselecteerd op windrichting, windsnelheid, winddraaiing en windduur. Voor deze 7 stormen zijn gemeten waterstanden beschikbaar op 6 locaties rond het Markermeer en het Gooi – en Eemmeer. De gemeten en de door WAQUA berekende waterstanden zijn met elkaar vergeleken. De berekende waterstanden blijken over het algemeen goed overeen te komen met de gemeten waterstanden. Afwijkingen tot maximaal 0.2 meter kwamen voor. Figuur 7 geeft een voorbeeld voor de storm van 24 tot 28 oktober 2002 voor de Houtribsluizen. Uit de validatie bleek dat de schematisatie niet aangepast behoefde te worden (Alkyon en Meander, 2005). De WAQUA schematisatie is dan ook niet verder gekalibreerd op gemeten waterstanden.

De getalwaarden van de HR 2006 dienen van uit het oogpunt van consistentie zoveel mogelijk aangesloten te zijn op die van HR 2001, voor een onderbouwing zie paragraaf 2.3. De aansluiting van de HR 2006 op de OOM-studie wordt gewaarborgd door het windverloop ten behoeve van de HR 2006 af te regelen op de berekende waterstanden uit de OOM-studie. De aansluiting van de wind wordt behandeld in paragraaf 4.3.1. De afregeling van het windverloop op de resultaten van de OOM-Studie kan ook gezien worden als een indirecte kalibratie. Opgemerkt wordt dat de schematisatie van de OOM-studie destijds ook gekalibreerd is op gemeten waterstanden.

Na de kalibratie en validatie is nog één essentiële wijziging doorgevoerd in de WAQUA schematisatie. De hoogte van de regionale keringen is verlaagd naar in 2006 gemeten hoogten, conform paragraaf 4.2.2. De hoogten van de regionale keringen zijn in een laat stadium van het project herzien door waterschap Vallei en Eem. Deze aanpassing blijkt geen gevolgen te hebben voor de reeds gevalideerde schematisatie: de waterstanden op de meetlocaties (In Markermeer, Gooimeer en Eemmeer) worden door deze aanpassing vrijwel niet beïnvloed.



Figuur 7

Voorbeeld met gemeten en berekende waterstanden voor de storm van 24 – 28 oktober 2002 bij de Houtribsluizen.

SWAN

Voor SWAN zijn, naast de schematisatie, de modelinstellingen van groot belang voor de te berekenen golfparameters als golfhoogte, golfperiode en golfrichting. De SWAN-instellingen voor IJburg zijn vastgesteld aan de hand van golfmetingen op het IJsselmeer en Slotermeer (Bottema, 2004). Gezien de overeenkomstige eigenschappen is daarbij aangenomen dat de metingen representatief zijn voor het Markermeer.

Om de geschiktheid van SWAN voor de meren te verifiëren zijn 10 cases met gevalideerde golfmetingen gebruikt. De cases zijn geselecteerd op de windrichting, windsnelheid, winddraaiing en windduur. De maximale gemeten windsnelheid in deze cases is 23 m/s (Bottema, 2004). Op basis van de cases is een vergelijking gemaakt tussen de gemeten parameters en de met SWAN berekende golfparameters (met standaardinstellingen). Uit deze vergelijking blijkt dat SWAN de gemeten golfhoogte gemiddeld 3% procent overschat

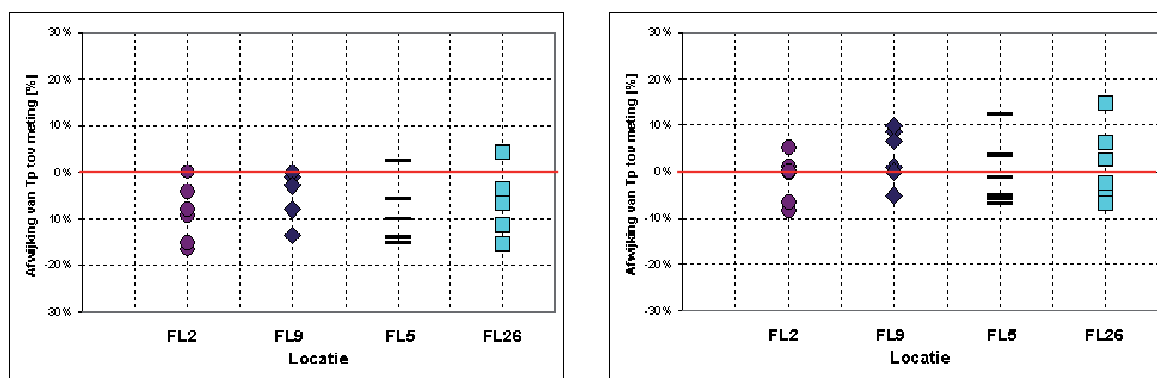
en de piekperiode met circa 10% tot 20% onderschat (Witteveen en Bos, 2004).

Uit de vergelijking van Witteveen en Bos blijkt dat, indien binnen SWAN gebruik wordt gemaakt van de aangepaste white-capping formulering van Rogers et. al. (2002), de berekeningen duidelijk beter aansluiten bij de metingen. Op basis van de verbeterde aansluiting op de metingen is besloten de aangepaste white-capping formulering toe te passen voor de HR 2006. Figuur 8 geeft een voorbeeld van de afwijking van de met SWAN berekende piekperiode ten opzichte van de metingen, met en zonder toepassing van de aangepaste white-capping formulering.

Ondanks het toepassen van de aangepaste white-capping formulering, zijn er toch nog systematische verschillen tussen de metingen en berekeningen. Deze verschillen zijn middels correctiefactoren geminimaliseerd. De gebruikte correctiefactor voor de piekperiode en golfhoogte zijn respectievelijk 1.022 en 0.964.

Voor HR 2001 zijn, op basis van de OOM-studie resultaten, golfberekeningen uitgevoerd met het inmiddels verouderde golfmodel HISWA. Over het algemeen overschat HISWA piekperioden, vooral voor piekperioden kleiner dan 2.4 s. Deze overschatting maakt dat de met SWAN bepaalde golfrandvoorwaarden voor HR 2006 zijn iets minder zwaar zijn dan de met HISWA berekenende golfrandvoorwaarden in de HR 2001.

Voor het ontwerp en de uitvoering van de eerste fase van IJburg heeft Ingenieurs Bureau Amsterdam gebruik gemaakt van SWAN zonder de aanpaste white-capping formulering. Er mag derhalve verwacht worden dat de golven uit HR 2006 iets zwaarder zijn dan de golven voor het ontwerp en uitvoering van de eerste fase van IJburg (WL I Delft Hydraulics, 1998).



Figuur 8

Afwijking berekende piekperiode t.o.v. gemeten piekperiode. Links zonder en rechts met aangepaste white-capping formulering.

Bretschneider

Voor de Eem is gebruik gemaakt van de golfgroeiformuleringen van Bretschneider. Deze bevatten geen parameters die gekalibreerd dienen te worden.

4.3 Productie Berekeningen Fysica en het vullen van de database

Na het maken en actualiseren van zowel de waterstand- als de golfschematisaties worden de productie berekeningen fysica gemaakt. Voor de productie berekeningen HR 2006 zijn voor een groot aantal combinaties van de bedreigingen meerpeil, windsnelheid en windrichting de bijbehorende waterstanden en golfcondities bepaald. Gezien het rekenintensieve karakter van de modellen waarmee de waterstanden en golven worden bepaald is het aantal door te rekenen combinaties beperkt, en wel tot 216 combinaties. Voor de bepaling van de uiteindelijke hydraulische belasting is gebruik gemaakt van interpolatie. De samenstelling en het aantal combinaties is afgestemd op de hydraulische en statistische kenmerken van het meer en is overgenomen uit de OOM-studie.

Dit betekent dat voor het Markermeer, zowel voor golven als voor waterstanden, is uitgegaan van 216 combinaties bestaande uit: 3 meerpeilen, 6 windsnelheden en 12 windrichtingen. Voor de windsnelheden is daarbij een onderscheid gemaakt, in de klasse indeling, tussen de oostelijke en de westelijke windrichtingen. Voor een nadere onderbouwing van de gekozen combinaties wordt verwezen naar WL I Delft Hydraulics (1997).

.....
Tabel 4
Windsnelheden Markermeer.

Windrichting [°]	Windsnelheid [m/s]							
0° - 180° (met een interval van 30°)	15	20	23	26	28	30		
210° - 330° (met een interval van 30°)	22		28		33	36	39	42

.....
Tabel 5
Meerpeilen Markermeer.

Meerpeilen [m +NAP]
-0.4
+ 0.3
+ 1.3

4.3.1. Windverloop

Voor de productie berekeningen fysica is een representatief windverloop benodigd ten behoeve van de waterstandsberekeningen. Vanuit consistentie oogpunt is het gewenst het representatieve windverloop (ook wel storm genoemd) van de OOM-studie over te nemen. Dit brengt echter de volgende problemen met zich mee:

- Het windverloop uit de OOM-studie beschrijft het gehele windverloop inclusief de voorflank, de top en de achterflank. De waterstandsberekeningen in de OOM-studie zijn echter alleen uitgevoerd voor de voorflank en de top van het de storm. De achterflank is dus niet uitgerekend. De achterflank is echter wel van belang voor het Gooi- en Eemmeer waar de maximale waterstanden worden bereikt na de top van de storm.

-
- De exacte instellingen van het windverloop uit de OOM-studie zoals beschreven in (WL I Delft Hydraulics, 1997) zijn niet meer reproduceerbaar, zo is aangetoond in (WL I Delft Hydraulics en Witteveen en Bos 2005).

Naar aanleiding van de bovenstaande problemen is er voor gekozen een nieuw windverloop af te leiden. Dit nieuwe windverloop is afgeleid op basis van berekeningen, waarbij getracht is de berekende maximale waterstanden uit de OOM-studie te reproduceren. Bij de uitgevoerde berekeningen zijn de volgende instellingen constant gehouden: windrichting = 300°N, windsnelheid = 33 m/s en meerpeil van -0.40 m+NAP. Bij de berekening is gevarieerd met de duur van de wind, de mate van winddraaiing en een reductiefactor op de windsnelheid boven het Gooi- en Eemmeer.

Uit de berekeningen zijn de volgende conclusies getrokken:

- Op het Gooi- en Eemmeer worden de maximale waterstanden bereikt na de top van de storm. Het berekenen van de maximale waterstanden enkel voor de voorflank en de top van de storm was een evidente fout in de OOM-studie.
- Het recent bepaalde windverloop 23-2-23 (duur in uren: voorflank, top, achterflank, Vlag, D.P. en C.I. Bak, 2004) levert geen verbetering op ten opzichte van het in de OOM-studie gehanteerde verloop van 9-4-9. Uit consistentie-overwegingen is gekozen het 9-4-9 verloop te handhaven.
- De vectoriele winddraaiing uit de OOM-studie leidt tot onrealistische draaisnelheden, een constante draaisnelheid is realistischer. Het toepassen van een vectoriele winddraaiing in de OOM-studie was een evidente fout.
- Met een lineaire afname van de windsnelheid van 10% tussen het Markermeer en Nijkerk kan de ruimtelijke verdeling van de maximale waterstanden uit de OOM-studie het best gereproduceerd worden.
- De berekende opwaaiing op het Gooi – en Eemmeer wordt significant beïnvloed door de in de WAQUA schematisatie opgenomen vernauwingen bij de Hollandse- en Stichtse Brug.
- De waterstanden bij IJburg reageren dermate snel op de wind, dat het exacte windverloop van weinig invloed is op de maximale waterstanden.

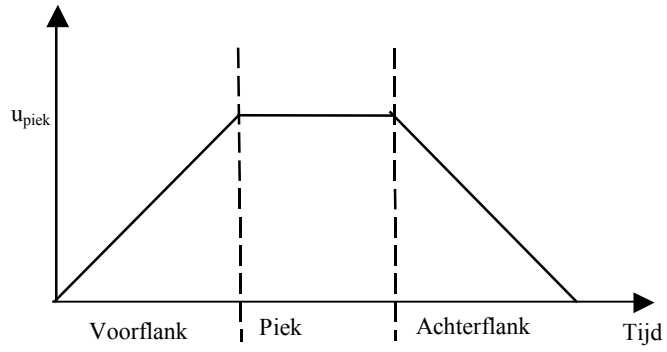
Uit het onderzoek blijkt dat de in de OOM-studie berekende maximale waterstanden op het Gooi- en Eemmeer het best gereproduceerd worden met de parameters zoals gegeven in Tabel 6 onder de kop HR 2006. Figuur 9 geeft in grafiekvorm de duur, winddraaiing en de ruimtelijke verdeling van het windverloop.

Tabel 6

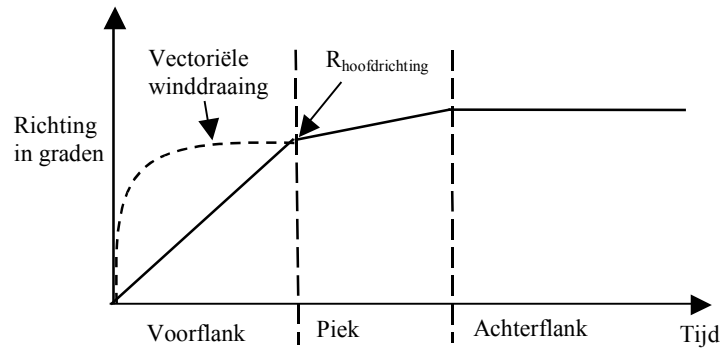
Windverloop HR 2006.

		OOM-studie	HR 2006
Voorflank	Duur	9 uur	9 uur
	Winddraaiing	39,6°	39,6°
	Interpolatie winddraaiing	vectorieel	graden
	Start windsnelheid	1 m/s	0 m/s
	Eind windsnelheid	Piekwind	piekwind
Piek	Duur	4 uur	4 uur
	Winddraaiing	4,4°	4,4°
	Interpolatie winddraaiing	vectorieel	graden
	Start windsnelheid	piekwind	piekwind
	Eind windsnelheid	piekwind	piekwind
Achterflank	Duur	n.v.t.	9 uur
	Winddraaiing	n.v.t.	0°
	Interpolatie winddraaiing	n.v.t.	graden
	Start windsnelheid	n.v.t.	piekwind
	Eind windsnelheid	n.v.t.	0 m/s
Wind snelheid	Ruimtelijke verdeling	macro/meso windvelden	Constant met uitzondering van het traject Hollandse Brug naar Nijkerk (Lineair afnemend van 100% naar 90%)

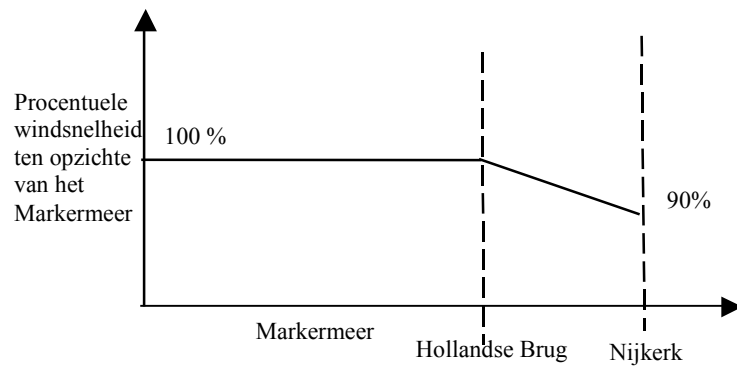
.....
Figuur 9
 Windschematisatie HR 2006.



A. Variatie van de windsnelheid in de tijd



B. Verloop van de winddraaiing in de tijd



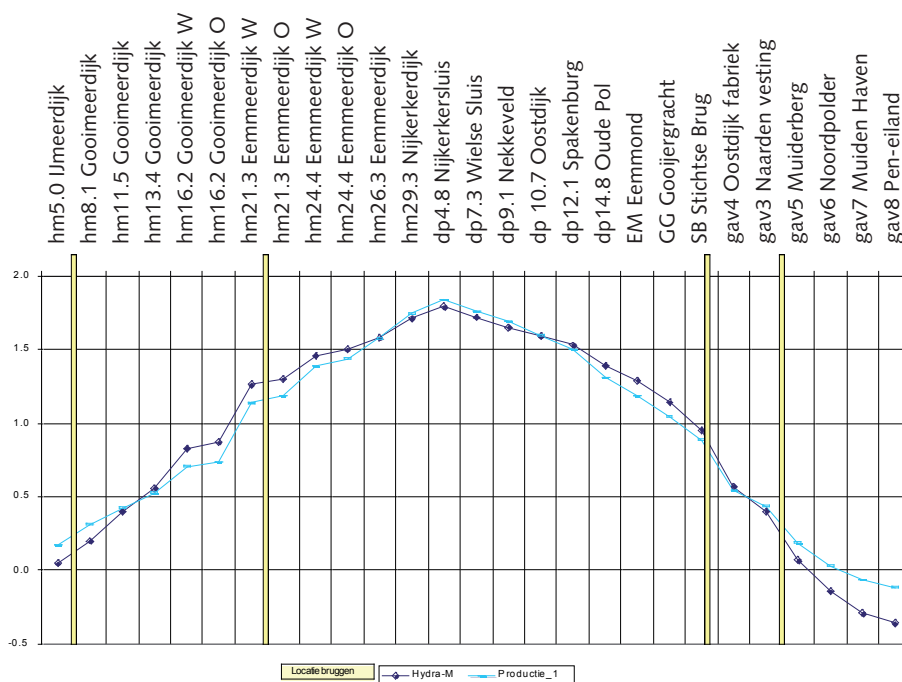
C. Ruimtelijke variatie van de windsnelheid

Voor een aantal locaties uit de HR 2006 zijn voor dezelfde combinatie van piekwindnelheid, windrichting en meerpeil de berekende waterstanden op het Gooi- en Eemmeer weergegeven voor zowel de OOM-studie als HR 2006 (Figuur 10). In de figuur staan op de x-as de HR 2006 locaties langs de oevers van het Gooi- en Eemmeer. De locaties lopen van Almere langs de noordoever via Nijkerker sluis tot het Pen-Eiland aan de zuidoever.

Voor het bepalen van de windgolven is ook de wind als invoer benodigd. Voor windgolven wordt echter niet uitgegaan van een windverloop maar van een uniforme stationaire wind met een snelheid en richting gelijk aan het begin van de top van de storm. Voor het berekenen van de windgolven is het acceptabel om uit te gaan van een stationaire wind aangezien de tijd die een golf nodig heeft om zich te ontwikkelen vele malen korter is dan de duur van de storm.

De windgolven zijn berekend met de instelling als beschreven in Tabel 6 met uitzondering van het windverloop en de winddraaiing. De windrichting is gelijk aan de hoofdwindrichting t.b.v. van de waterstandsberoeeningen (Figuur 9). Voor de Eem is de windsnelheid voor alle randvoorwaardenlocaties gelijk aan de windsnelheid bij de monding van de Eem, die gelijk is aan de 95% van de windsnelheid bij Hollandse Brug.

Figuur 10
Berekende waterstanden op het Gooi- en Eemmeer voor zowel HR 2006 en de OOM-studie.



4.3.2. Afvoer van de Eem

Voor de productie berekeningen fysica is naast een representatief windveld ook een afvoer van de Eem nodig. Om te komen tot een goede verwerking van de afvoer van de Eem in de HR 2006 is door Alkyon en Meander (2005) onderzoek gedaan naar:

- de gevoeligheid van waterstanden op de Eem voor afvoer
- de afvoerstatistiek van de Eem
- de correlatie tussen de Eemafvoer en het Markermeerpeil

Uit het onderzoek blijkt dat de maximale waterstanden op de Eem met name bepaald worden door de waterstanden op het Markermeer/ Eemmeer als gevolg van opwaaiing. Deze conclusie werd ook al getrokken in het rapport hoogwaterstanden op de Eem (WL I Delft Hydraulics, 2000). De afhankelijkheid van de waterstanden van respectievelijk de windsnelheid, het meerpeil en de afvoer van de Eem is geïllustreerd in Figuur 11. Deze figuur geeft de maximaal optredende waterstanden weer.

De afvoerstatistiek van de Eem is door de beperkte hoeveelheid meetgegevens met een relatief grote onzekerheid behept. Afhankelijk van de gehanteerde statistische methode (verdeling en wijze van calibratie) kunnen er verschillende kansverdelingen worden opgesteld. In Alkyon en Meander 2005 worden de verschillende kansverdelingen besproken en gepresenteerd. In Figuur 12 is de overschrijdingsfrequentielijn gegeven zoals die uiteindelijk is toegepast; Tabel 7 geeft daarover enige numerieke informatie.

De correlatie tussen de afvoer van de Eem en het meerpeil van het Markermeer blijkt vrij zwak te zijn. In Figuur 13 is voor de winter situatie de gemeten afvoer van de Eem uitgezet tegen het gemeten meerpeil. Uit de grootte van de spreiding blijkt dat er geen sprake is van een sterk verband.

Gezien de beperkte invloed van de Eem afvoer op de maximale waterstanden is er voor gekozen de Eem afvoer niet als afzonderlijke bedreiging (stochast) in de HR 2006 mee te nemen. In plaats van de afvoer probabilistisch te modelleren is de afvoer van de Eem als vaste waarde meegenomen in de productieberekeningen waterstanden. Gezien de zwakke correlatie tussen de afvoer en het meerpeil is er gekozen slechts één afvoer op te leggen aan alle productie berekeningen.

De opgelegde afvoer is, in overleg met de watersysteemgroep meren, gelijk gesteld aan de afvoer 1 keer per jaar wordt overschreden. Uit de statistische analyse blijkt dat dit $77 \text{ m}^3/\text{s}$ is. De TC-Rand heeft besloten deze waarde af te ronden op $75 \text{ m}^3/\text{s}$ teneinde geen schijnnaauwkeurigheid te suggereren.

Tabel 7

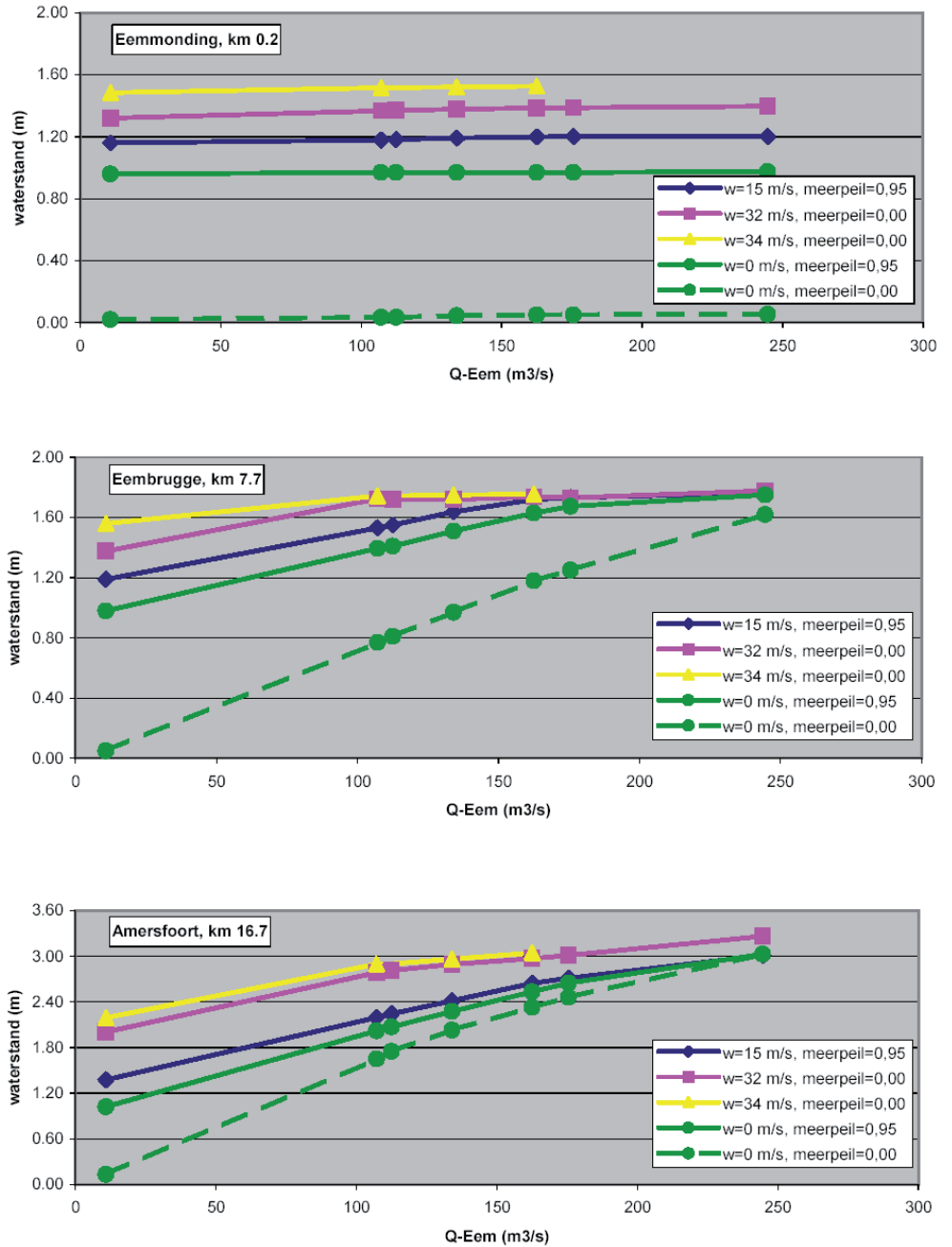
Afvoerstatistiek van de Eem

Afvoerstatistiek afgeleid uit de jaar maxima uit de periode 1990-2004.

Terugkeertijd	Afvoer [m ³ /s]
Dagelijks	11
1 jaar	77
10 jaar	107
100 jaar	134
1250 jaar	163

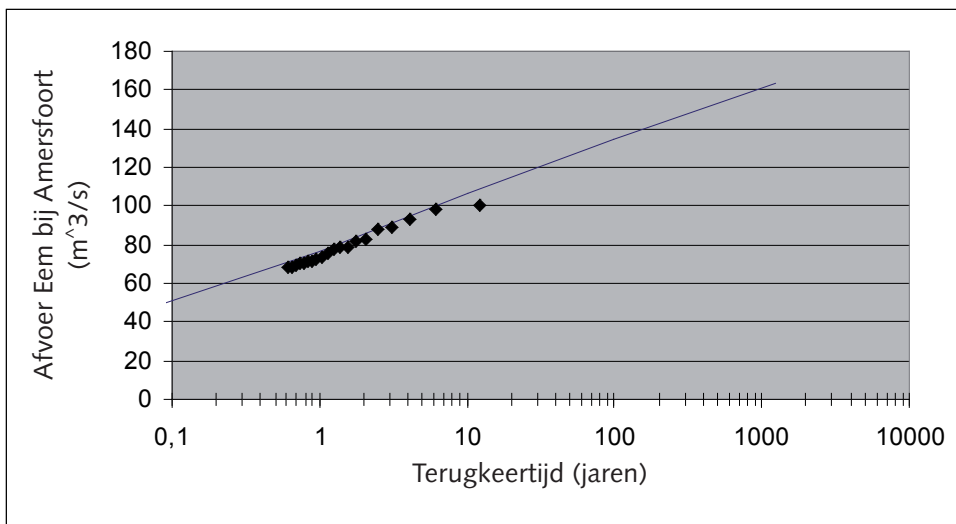
Figuur 11

Gevoeligheid waterstanden op de Eem voor het meerpeil, windsnelheid en afvoer van de Eem.



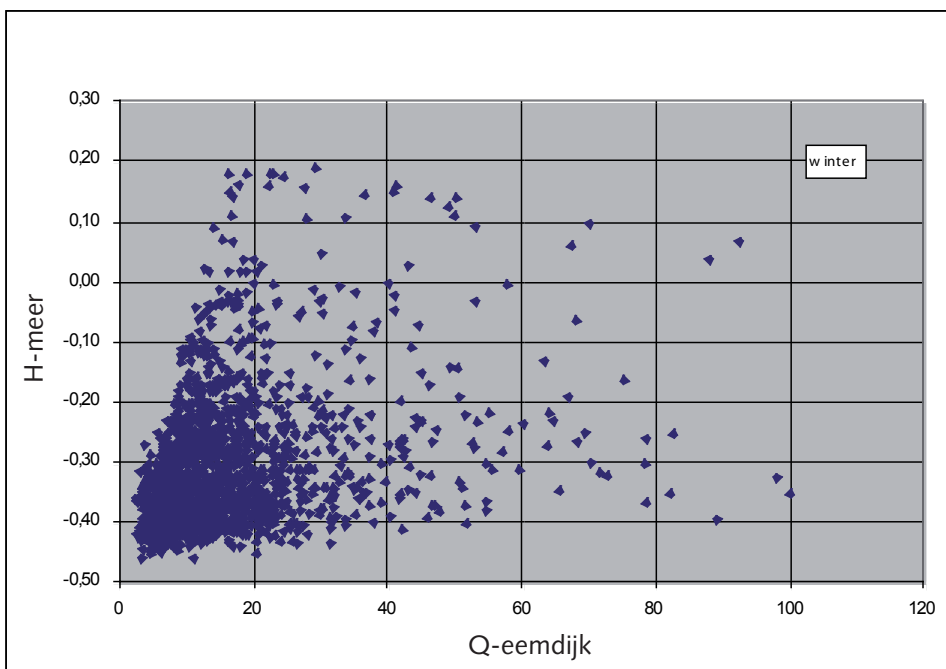
.....
Figuur 12

Overschrijdingsfrequentielijn van de Eemafvoer bij Amersfoort en de metingen.



.....
Figuur 13

Gemeten waarden van het Meerpeil en de Afvoer op de Eem bij Eemdijk.



4.3.3. Productie berekeningen waterstanden

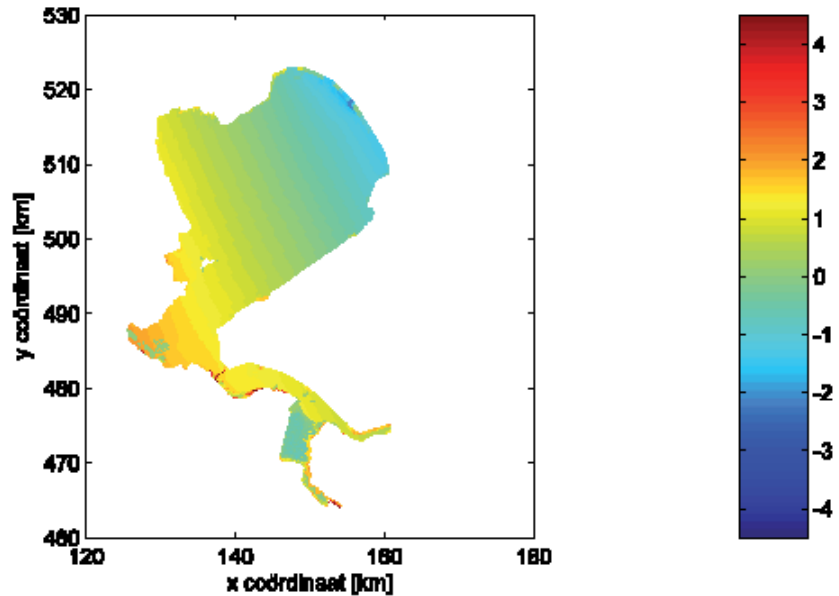
Om de HR 2006 te kunnen bepalen zijn in totaal 216 waterstandberekeningen uitgevoerd. Voor deze berekeningen is het windverloop gebruikt zoals beschreven in de vorige paragraaf. Van elke berekening zijn zowel de momentane- als de maximum waterstandsvelden opgeslagen. Een maximum waterstandveld beschrijft de maximaal opgetreden waterstanden gedurende de berekening. Deze waterstanden hoeven niet gelijktijdig te zijn opgetreden. Bij IJburg treedt de maximale waterstand, door de traagheid van het watersysteem, veelal eerder op dan op het Eemmeer.

Voor de HR 2006 zijn de alleen de maximale waterstanden gebruikt. De momentane waterstanden zijn slechts ter controle van de

uitgevoerde berekeningen gebruikt. Figuur 14 geeft een voorbeeld van een momentaan waterstandsveld op tijdstip is 13 uur. De figuur laat duidelijk zien dat er sprake is van opwaaiing bij IJburg. De buitendijkse polders langs de Eem zijn in deze berekening niet volgelopen. Figuur 15 geeft een voorbeeld van een maximaal waterstandsveld voor de Eem. De figuur laat duidelijk zien dat er sprake is van opwaaiing op de Eem. Ook in deze berekening is de buitendijkse polder niet of beperkt volgelopen. (De opvallend hoge waarden aan de randen van het watersysteem zijn veelal hoogten van het land en niet van het water, deze zijn derhalve van geen waarde.)

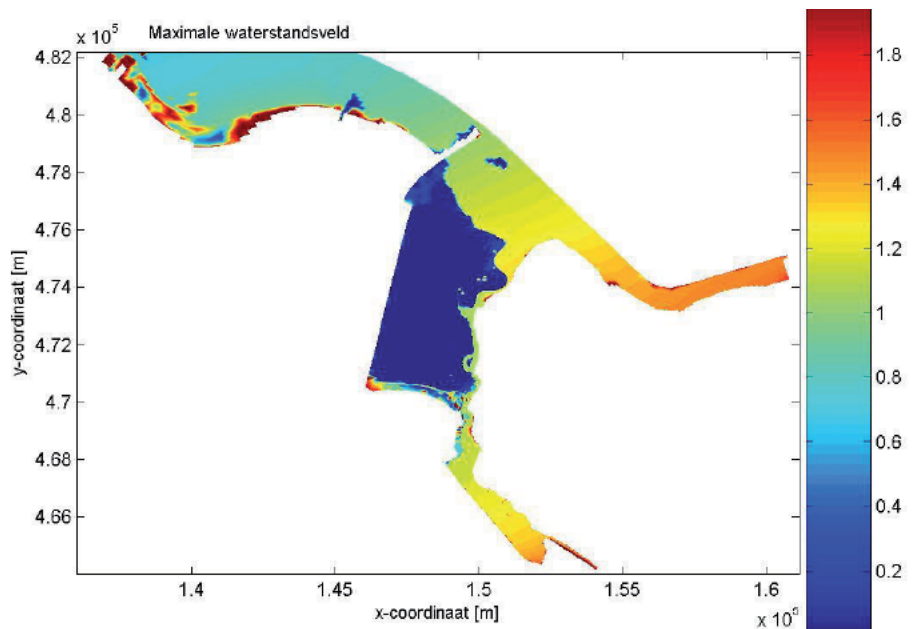
Figuur 14

Voorbeeld van een momentaan waterstandsveld als gevolg van een windsnelheid van 30 m/s een initieel meerpeil van 0.3 m +NAP en een windrichting van 60°.



Figuur 15

Voorbeeld Maximaal waterstandsveld op de Eem als gevolg van een windsnelheid van 28 m/s een initieel meerpeil van -0.4 m +NAP en een windrichting van 330°.



Controle productie berekeningen waterstanden

Alle 216 waterstands berekeningen zijn gecontroleerd op consistentie en fouten. Deze controle heeft een tweeledig doel:

1. Identificeren en eventueel afkeuren van foutieve individuele berekeningen;
2. Identificeren en eventueel uitsluiten van foutieve specifieke locaties en/of deelgebieden voor de HR 2006.

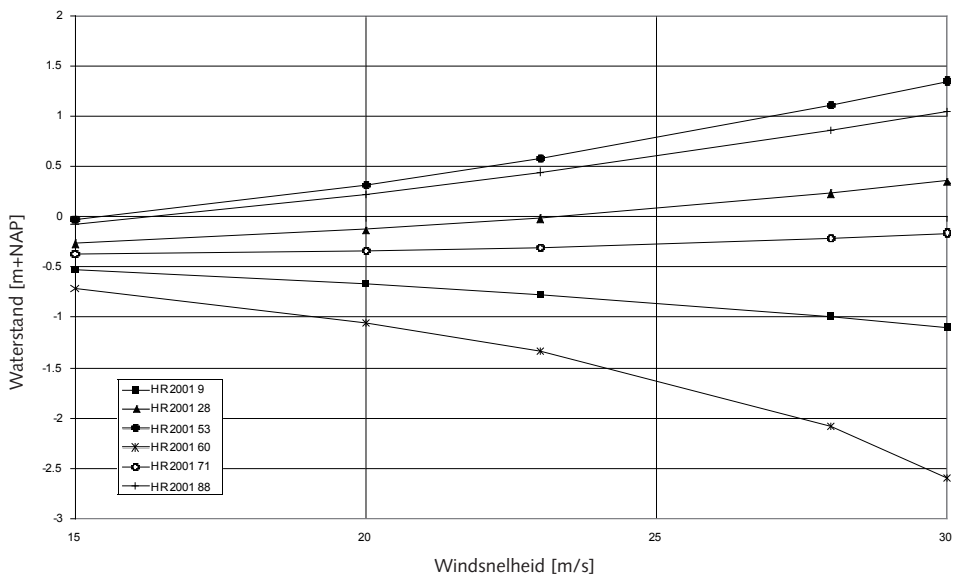
De controles zijn uitgevoerd op de waterstand (zowel momentaan als maximaal) en de berekende stroomsnelheid. Bij controles is specifiek aandacht besteed aan de:

- Fysische verklaarbaarheid van de waterstanden
- Realiteitsgehalte van de stroomsnelheden
- Numerieke instabiliteiten de gevolgen daarvan voor waterstanden

De waterstanden en stroomsnelheden vertonen de verwachte trends. Bij toenemende windsnelheid nemen de waterstanden volgens verwachting toe of af. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 16. In deze figuur zijn voor enkele karakteristieke locaties op het Markermeer de waterstand bij toenemende windsnelheid uitgezet. De locaties uit de figuur zijn gegeven in Figuur 17. Bij de controle zijn geen waterstands berekeningen afgekeurd. Wel zijn er lokaal enkele gebieden geïdentificeerd waar de berekende waterstanden niet geschikt bleken voor opname in de HR 2006. Vanzelfsprekend zijn er voor deze gebieden geen locaties opgenomen in de HR 2006.

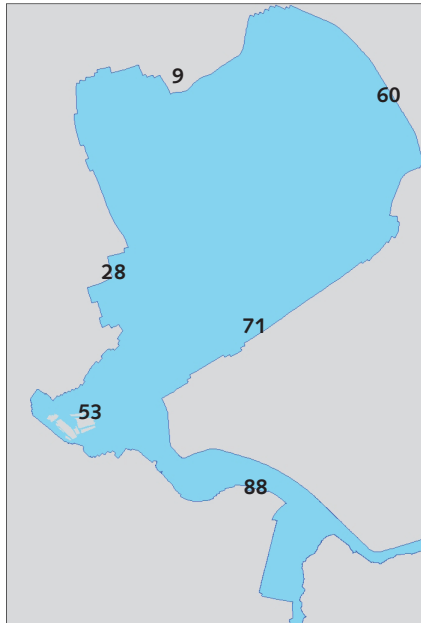
Figuur 16

Trends in waterstanden bij toenemende windsnelheid bij een meerpeil van -0.4 m +NAP en een wind met richting 30° .



.....
Figuur 17

Locaties van in figuur 16
beschreven trends in de waterstand.



4.3.4. Productieberekeningen golven

De productieberekeningen bestaan naast de eerdergenoemde 216 waterstandsberekeningen ook uit 216 golfberekeningen. De golfberekeningen vallen uiteen in twee sets a) de met SWAN berekende golfrandvoorwaarden voor IJburg en b) de met Bretschneider berekende golfrandvoorwaarden voor de Eem.

Productieberekeningen Golven; IJburg

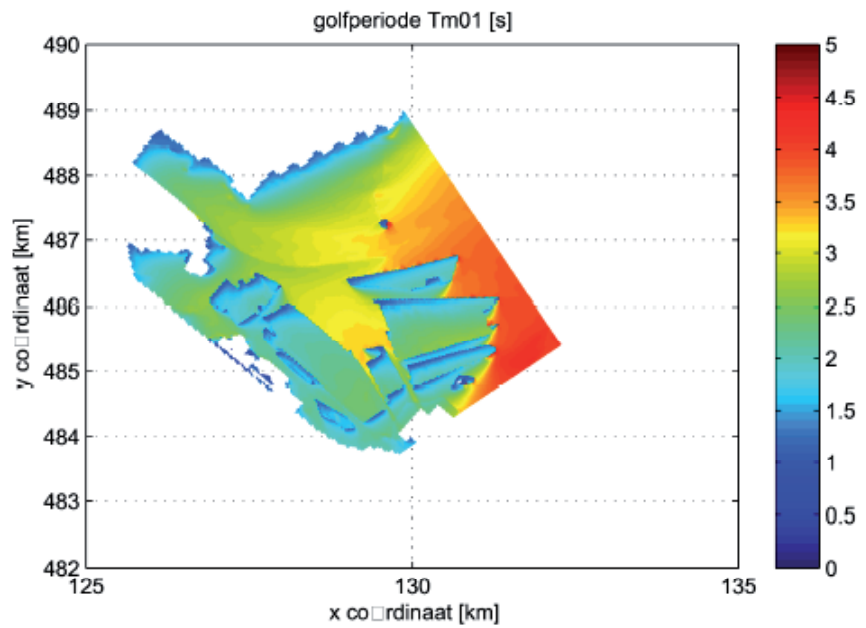
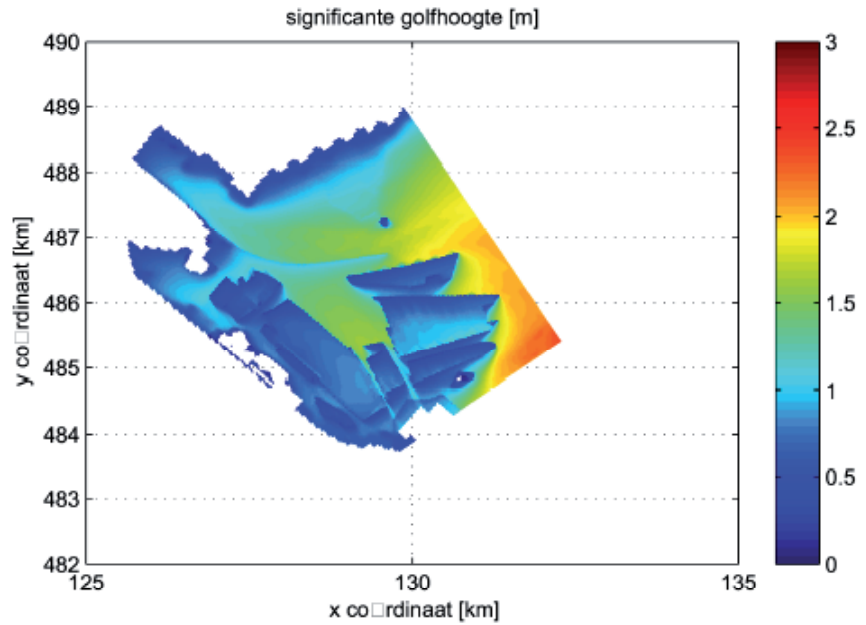
De met SWAN uitgevoerde golfberekeningen voor IJburg zijn uitgevoerd met de in paragraaf 4.3.1 beschreven windinvoer. Deze windinvoer is opgelegd aan de 216 met WAQUA berekende maximale waterstandsvelden. Dit is een conservatieve aanname indien de maximale waterstand niet gelijktijdig optreedt met de maximale windsnelheid. Voor IJburg is dat nauwelijks het geval gezien de ligging nabij het zwaartepunt van het Markermeer.

Van elke SWAN berekening zijn velden met 13 golfparameters opgeslagen. De belangrijkste opgeslagen golfparameters zijn de significante golfhoogte (H_s), piek golfperiode (T_p) en de golfrichting. Voor de HR 2006 zijn uiteindelijk alleen deze 3 golfparameters gebruikt. De overige golfparameters zijn slechts gebruikt voor de controle van de uitgevoerde berekeningen. Figuur 18 geeft een voorbeeld van een significante golfhoogte en golfperiode (T_{m01}) veld voor een van de productieberekeningen. De figuur laat duidelijk zien dat de golfbelasting op de koppen van IJburg aanzienlijk groter is dan tussen de eilanden. Merk ook op dat de scheepvaartgeleide dam ten noorden van IJburg de golfhoogte en golfperiode achter de dam aanzienlijk vermindert. Uit de figuur blijkt tevens dat er golven worden berekend "in" de eilanden van IJburg. Deze golven worden berekend omdat de eilanden middels oneindig hoge dammen zijn geschematiseerd en de bodemhoogte "in" IJburg is gelijk aan de

waterdiepte van voor de aanleg van IJburg. SWAN interpreteert deze instellingen als of er water in de eilanden staat en er golfvorming kan optreden. De "in" IJburg berekende golven hebben geen effect op de berekende golven rond IJburg.

Figuur 18

Voorbeeld ruimtelijke verdeling significante golfhoogte H_s en golfperiode T_{m01} bij een Meerpeil van 1.3 m+ NAP een windsnelheid van 42 m/s en een windrichting van 330° .



Controle productieberekeningen golven; IJburg

De golfberekeningen voor IJburg zijn gecontroleerd op consistentie en fouten. Deze controle had een tweeledig doel:

1. Identificeren en eventueel afkeuren van foutieve individuele berekeningen;
2. Identificeren en eventueel uitsluiten van foutieve specifieke locaties en/of deelgebieden voor de HR 2006.

De controles van de golfberekeningen hebben zich met name gericht op de significante golfhoogte en de piekperiode. Bij de controles is gekeken naar de volgende aspecten:

- Fysische verklaarbaarheid van de golfcondities;
- Consistentie van de ruimtelijke golfvelden;
- Realiteitsgehalte van de golfparameters;
- Numerieke instabiliteiten en de gevolgen daarvan voor golfparameters.

De golfparameters vertonen de verwachte trends. Bij toenemende windsnelheid nemen de golfhoogten en golfperioden toe. Voor meer geëxposeerde locaties wordt een zwaardere golfbelasting berekend dan voor meer beschutte locaties. Alle ogenschijnlijke inconsistenties in de berekende golfrandvoorwaarden zijn te verklaren uit lokale omstandigheden als geometrie en bodemhoogte. Uit de controles blijkt dat SWAN ook tussen de eilanden van IJburg acceptabele resultaten geeft. Dit is opvallend omdat SWAN eigenlijk niet geheel is toegerust om ingezet te worden op dergelijke smalle wateren. Daarnaast is er soms slechts een beperkt aantal rekencellen voor SWAN ter beschikking. WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos adviseren terughoudend om te gaan met de berekende golfrandvoorwaarden in de smalste delen van de kanalen van IJburg. Gezien de acceptabele resultaten heeft RWS RIZA besloten de betreffende locaties wel op te nemen in de HR 2006.

Bij de controles zijn geen golfberekeningen afgekeurd. Wel zijn de zojuist genoemde kanttekeningen geplaatst bij de golfrandvoorwaarden in de kanalen van IJburg.

Productie berekeningen golven; Eem

De productie berekeningen golven voor de Eem zijn uitgevoerd met de 1 dimensionale golfgroei formuleringen van Bretschneider (TAW, 1989). Er zijn golfberekeningen gemaakt voor de 216 met WAQUA bepaalde maximale waterstandsvelden. Als windinvoer is de maximale windsnelheid uit het windverloop zoals beschreven in paragraaf 4.3.1 gebruikt. Door de maximale wind te combineren met de maximale waterstand zijn de berekende golven iets aan de conservatieve kant. De maximale waterstand op de Eem treedt namelijk 1 tot 2 uur na de top van de storm op. Door deze conservatieve aanname wordt de golfhoogte en golfperiode maximaal 10 tot 15% overschat.

Van elke golfberekening zijn voor een grote set met uitvoerlocaties 2 golfparameters opgeslagen: de significante golfhoogte (H_s) en de piek golfperiode (T_p). Het is met de Bretschneider formuleringen niet mogelijk een golfrichting te bepalen. De golfrichting is daarom gelijk genomen aan de windrichting.

Controle productieberekeningen golven; Eem

De golfberekeningen voor de Eem zijn gecontroleerd op consistentie en fouten. Deze controle had een tweeledig doel:

1. Identificeren en eventueel afkeuren van foutieve individuele berekeningen;
2. Identificeren en eventueel uitsluiten van foutieve specifieke locaties en/of deelgebieden voor de HR 2006.

De controles van de golfberekeningen hebben zich met name gericht op de significante golfhoogte en de piekperiode. Bij de controles is gekeken naar de volgende aspecten:

- Fysische verklaarbaarheid van de golfcondities;
- Consistentie van de ruimtelijke golfvelden;
- Realiteitsgehalte van de golfparameters;
- Numerieke instabiliteiten en de gevolgen daarvan voor golfparameters.

De golfparameters vertonen de verwachte trends. Bij toenemende windsnelheid nemen de golfhoogten en golfperioden toe. In gevallen met een zuidoostelijke tot zuidwestelijke wind nemen de golfcondities af bij toenemende wind. Bij deze windcondities treedt er afwaaiing op waardoor de waterdiepte afneemt en daarmee de golven kleiner worden.

Uit de controle van de golf randvoorwaarden voor de Eem is gebleken dat voor de meest bovenstrooms gelegen locatie op de Eem (dp31.5 Industrieweg, 154073, 464233) met Bretschneider geen golven worden berekend voor windrichting 300 graden ten opzichte van noord. De effectieve bodem ligt hier voor deze maatgevende windrichting hoger dan de maximale waterstand. De representatieve waterdiepte is hierdoor nul. De hoge effectieve bodemhoogte wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een woonwijk en door de lokaal zeer geringe breedte van de Eem. Ondanks dat er geen golven worden berekend is deze locatie niet afgekeurd omdat er gezien de geometrie verwacht mag worden dat de golven hier zeer beperkt zijn.

4.3.5. Uitvoerlocaties

Na het uitvoeren van de productieberekeningen komen de uitvoerlocaties in beeld. Uitvoerlocaties zijn geografische locaties waar uitvoer van de waterstands- en golven berekeningen beschikbaar is en waarvan hydraulische randvoorwaarden bepaald kunnen worden.

In het project HR 2006 voor de Meren zijn drie soorten uitvoerlocaties gedefinieerd:

- Rekenlocaties
- Controlelocaties
- Randvoorwaardenlocaties

Rekenlocaties zijn locaties waar uitvoer van de waterstands- en golfberekeningen is opgeslagen. Controlelocaties zijn locaties waar de waterstands- en golfberekeningen zijn gecontroleerd. De randvoorwaardenlocaties zijn de locaties waarvoor de hydraulische randvoorwaarden zijn uitgerekend en goed bevonden. Deze laatste locaties vindt u terug in het randvoorwaardenboek en in Hydra-M. De drie typen locaties hebben een logische hiërarchie: er zijn veel meer rekenlocaties dan controlelocaties tevens zijn er meer controlelocaties dan randvoorwaardenlocaties. Een randvoorwaardenlocatie is tevens een rekenlocatie en een controlelocatie. Het moge duidelijk zijn dat dit niet anders om geldt: een rekenlocatie hoeft geen randvoorwaardenlocatie te zijn.

De rekenlocaties op het Markermeer en Gooi- Eemmeer liggen op circa 200 meter uit de teen van de dijk. Bij IJburg en op de Eem liggen de locaties afhankelijk van de situatie tussen de 10 en de 50 meter uit de teen van de dijk. In Figuur 5 zijn de rekenlocaties voor HR 2006 in de omgeving van IJburg gepresenteerd.

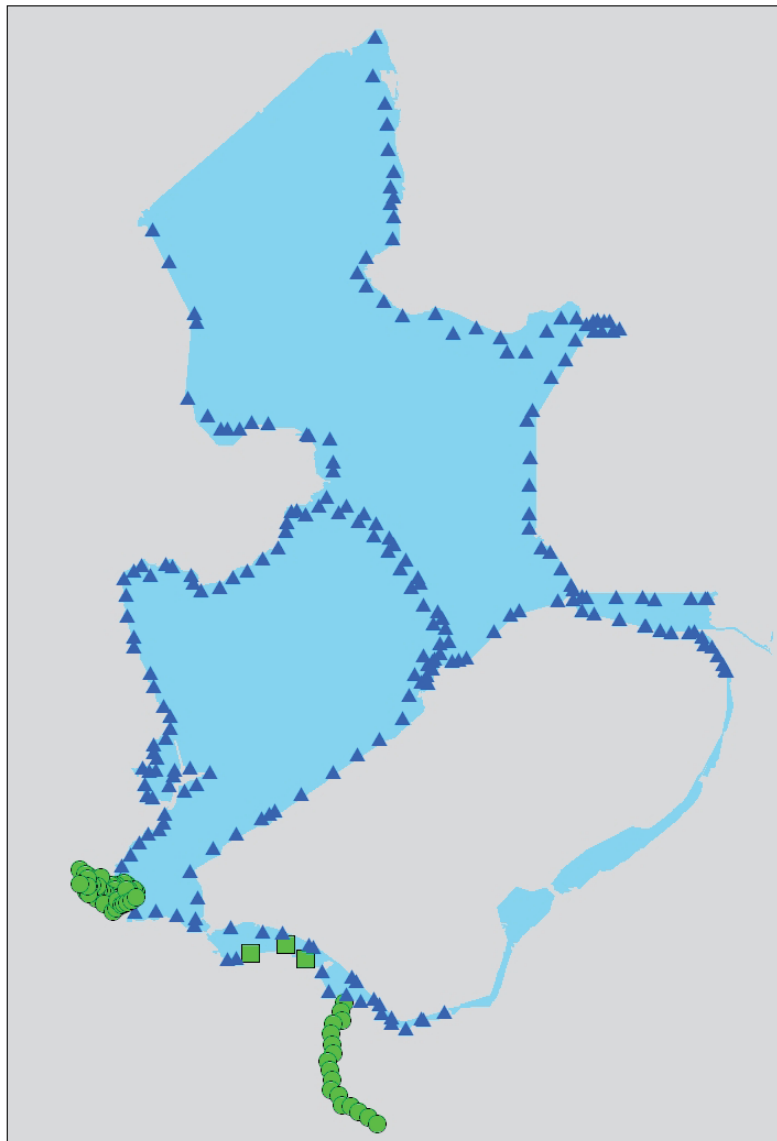
De randvoorwaardenlocaties HR 2006 kunnen worden onderverdeeld in enkele subsets:

- Markermeer, Gooimeer en Eemmeer; deze locaties zijn overgenomen uit de HR 2001. De randvoorwaarden op deze locaties zijn identiek aan de HR 2001.
- Extra locaties Gooimeer; op het Gooimeer zijn, op verzoek van de watersysteemgroep Meren, 3 extra locaties aan de HR 2006 toegevoegd. De HR voor deze locaties zijn reeds uitgerekend voor de HR 2001, de locaties zijn destijds echter niet uitgeleverd.
- IJburg; voor IJburg worden op 47 nieuwe locaties randvoorwaarden vastgesteld. Deze locaties zijn vastgesteld in overleg met Ingenieurs Bureau Amsterdam (IBA) en komen overeen met de door IBA gehanteerde locaties voor het ontwerp van IJburg Fase 1 (WL I Delft Hydraulics, 2000). De locaties voor het ontwerp van IJburg zijn aangevuld met enkele locaties nabij Zeeburg en de Oranjesluizen.
- Eem; voor de Eem worden op 17 nieuwe locaties op de as van de Eem randvoorwaarden vastgesteld. Deze locaties zijn vastgesteld in overleg met het waterschap Vallei en Eem.

Figuur 19 geeft een geografisch overzicht van de randvoorwaarden locaties. Met de vorm en kleur van de locaties is aangegeven tot welke subset de locaties behoren.

Figuur 19

Randvoorwaardenlocaties HR 2006. De blauwe driehoeken zijn locaties waar de HR worden overgenomen uit de HR 2001. De groene bolletjes zijn nieuwe locaties. De groene vierkanten zijn nieuw uitgeleverde locaties uit de HR 2001.



4.3.6. Vullen van de Hydra database

De berekende waterstanden en golven worden uiteindelijk met behulp van Hydra-M verwerkt tot hydraulische randvoorwaarden. Hiertoe worden de 216 berekende maximale waterstanden en golven gecombineerd in een matrix, de database fysica. Deze database dient als invoerdatabase voor Hydra-M. De database fysica voor Hydra-M is identiek aan de database fysica voor Hydra-Q. De opmaak van en wijze waarop de database is aangemaakt staat uitvoerig beschreven in WL I Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2005).

4.4 Statistiek

Voor de berekenen van de HR is een goede statistiek benodigd van de voor het watersysteem relevante bedreigingen. Voor de meren houdt dit in dat er statistiek benodigd is van het meerpeil en de wind (richting en snelheid). Beide statistieken zijn voor de HR 2006 onveranderd overgenomen uit de HR 2001. Voor de volledigheid worden ze hier wel kort behandeld.

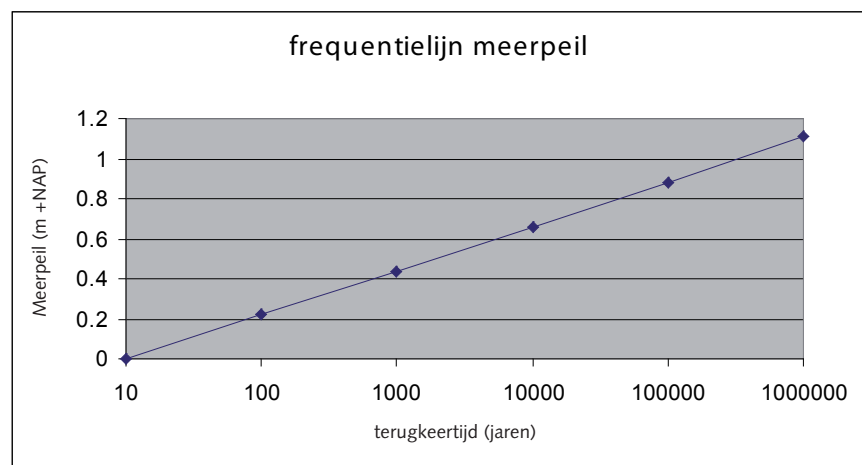
Meerpeilstatistiek

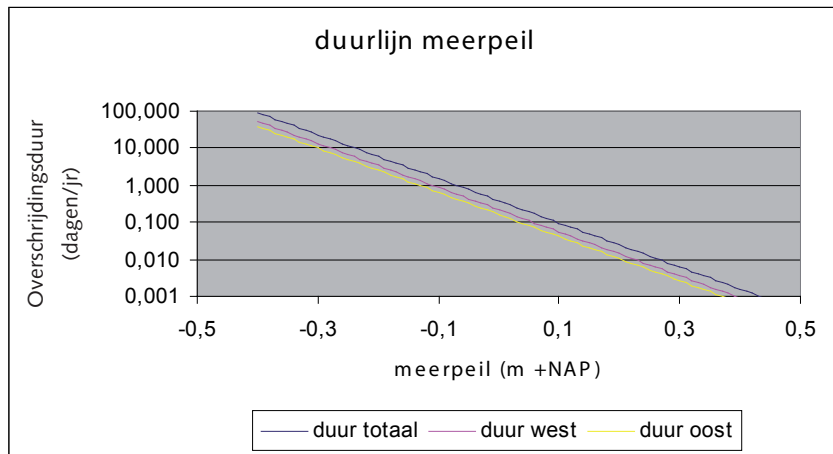
Hydra-M maakt gebruik van twee meerpeilstatistieken: een voor het IJsselmeer en een voor het Markermeer. Voor de nieuwe gebieden in de HR 2006 is gebruik gemaakt van de meerpeilstatistiek van het Markermeer. In deze paragraaf zal de meerpeilstatistiek van het Markermeer worden toegelicht. Voor de meerpeilstatistiek van het IJsselmeer wordt verwezen naar RIZA (1999).

Het Markermeer is ontstaan in 1976 door de aanleg van de dijk van Enkhuizen naar Lelystad. De tijdreeks van meetgegevens besloeg daarmee in 1996, toen de meerpeilstatistiek werd afgeleid, 20 jaar. De reeks is kunstmatig verlengd met berekende meerpeilen voor de periode 1932-1976. Op basis van de samengestelde tijdreeks is een frequentielijn en een duurlijn gegenereerd. De frequentielijn en duurlijn zijn gegeven in figuren 20 en 21. De duurlijn blijkt enigszins afhankelijk te zijn van de windrichting (oostelijke sector respectievelijk westelijke sector). Voor een nadere onderbouwing van de gebruikte statistiek wordt verwezen naar WL I Delft Hydraulics (1998) en RIZA (1999). In de berekeningen met Hydra-M en Hydra-Q wordt rekening gehouden met deze twee verschillende duurlijnen.

.....
Figuur 20

Frequentielijn meerpeil Markermeer.



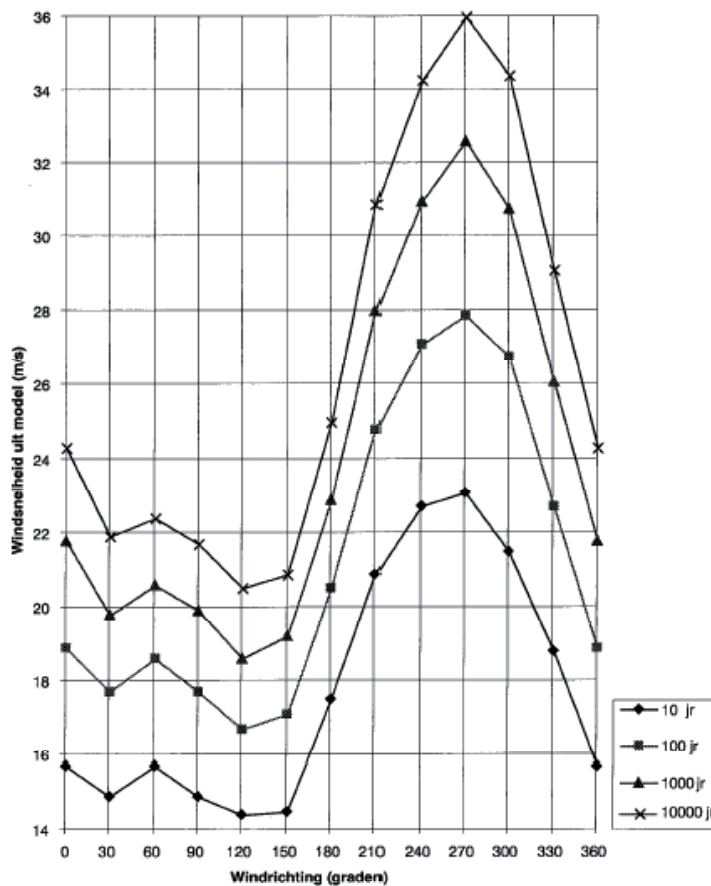


Windstatistiek

Voor de windstatistiek van Hydra-M en Hydra-Q is gebruik gemaakt van de windmetingen bij Schiphol. De wind bij Schiphol is met het Rijkcoort-Weibull model vertaald naar het windklimaat boven het IJsselmeergebied (Wieringa en Rijkcoort, 1983). De gebruikte windmetingen komen uit de periode van 1962-1976. De windstatistiek beschrijft de overschrijdingskansen van windsnelheden voor 12 windsectoren van 30°. In figuur 22 zijn deze overschrijdingskansen grafisch weergegeven. Voor een nadere onderbouwing van de windstatistiek wordt verwezen naar RIZA (1999) en Vlag, D.P. en C.I. Bak (2004).

Figuur 22

Terugkeertijden windsnelheid per windrichting.



4.5 Dijkinformatie

Voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden is naast informatie over de fysica en de statistiek ook informatie over de dijk benodigd. De dijk informatie bestaat uit:

- De locatie(s);
- Oriëntatie van de dijk;
- Het profiel van de dijk inclusief:
 - Bermen
 - Voorlanden
 - Bekledingskenmerken en
- Het kritieke overslagdebiet

Daarnaast dient de gebruiker de overschrijdingsfrequentie aan te geven, waarvoor hij de hydraulische belasting wil weten.

De dijk informatie wordt middels door de gebruiker te definiëren profielen in Hydra-M en Hydra-Q ingevoerd. De gebruiker voegt middels de profielen zijn "gebiedskennis" toe aan de hydraulische randvoorwaarden. In Figuur 23 is een voorbeeld van een profiel gegeven zoals geschematiseerd in Hydra-M.

.....
Figuur 23

Voorbeeld van een schematisatie van een 1 op 4 profiel in Hydra-M.

Profielen toevoegen / wijzigen

Naam: Dijknormaal: (gr tov Noord) OK

Dam: Kruinhoogte: (m+NAP) Annuleren

Damhoogte : (m+NAP) Memo...

Profielgegevens

Type	Afstand_1 (m)	Hoogte_1 (m+NAP)	Afstand_2 (m)	Hoogte_2 (m+NAP)	H (1:n)	R (ruw)	Rij invoegen	Rij verwijderen
<input type="radio"/> Teen	-264	-4	36	-1	100	1		
<input checked="" type="radio"/> Teen	36	-1	40	0	4.00	1.00		
<input type="radio"/> Teen	40	0	60	5	4.00	0.65		

Grafische weergave:

Profiel: Labels: Assen... Afdrukken... Kopiëren

4.6 De probabilistische berekening met Hydra-M en Hydra-Q

De volgende stap in het randvoorwaarden project is het daadwerkelijk berekenen van de hydraulische randvoorwaarden voor de Meren.

Hiervoor zijn de volgende gegevens nodig, zie Figuur 3:

- Hydra-M/Q inclusief de database fysica
- Statistiek
- Dijk informatie

In de volgende paragrafen wordt een beknopte beschrijving gegeven van de werking van de beide programma's.

4.6.1. Beknopte beschrijving Hydra-M

Het programma Hydra-M is een belangrijk hulpmiddel voor de toetsing van waterkeringen in het merengebied. Het programma is in de jaren 1995 en 1996 ontwikkeld voor het IJsselmeer en het Ketelmeer. In de jaren daarna is het ook toegepast op het Markermeer en geschikt gemaakt voor het ontwerp van IJburg.

Hydra-M leest de gegevens van de waterstanden en golven voor geselecteerde locaties uit de database fysica. Alle combinaties van waterstanden en golven vertaalt Hydra met een oploop/overslag- en voorlandmodule en de nodige dijk informatie tot belastingniveaus op de dijk. In Hydra-M kan daarbij gekozen worden uit diverse types belastingen, waaronder 'alleen waterstand' en 'de som van waterstand en golfoploop'. Het probabilistische rekenhart van Hydra-M combineert de belastingniveaus met de bijbehorende statistische informatie en bepaalt uiteindelijk het belastingniveau bij de gevraagde frequentie. Voor de HR 2006 is Hydra-M 1.4 toegepast. Deze versie van Hydra-M is op de voorlandmodule en de overslagmodule na rekentechnisch identiek aan Hydra-M 1.1, zoals beschikbaar gesteld met HR 2001. Hydra-M versie 1.4 maakt gebruik van de PC-Overslag ipv de runupmodule uit Hydra-M 1.1. Daarnaast verschillen beide versies qua gebruikersinterface en de randvoorwaarden databases. In de volgende paragraaf wordt een korte samenvatting gegeven van de rekenmethode van Hydra-M. Voor een volledige beschrijving wordt verwezen naar de achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied (RIZA, 1999).

Rekenmethode Hydra-M

Hydra-M heeft als doel de hydraulische belasting behorende bij een bepaalde frequentie te bepalen. Hydra-M doet dit in feite door het omgekeerde te berekenen: de frequentie behorende bij een bepaald hydraulische-belastingniveau, kortweg belastingniveau.

We illustreren de rekenmethode van Hydra-M aan de hand van Figuur 24. Stel we hebben een locatie waar de belasting veroorzaakt wordt door slechts twee bedreigingen: het meerpeil en de windsnelheid (de windrichting wordt dus buiten beschouwing gelaten). We zijn op zoek naar de overschrijdingsfrequentie van het belastingniveau 0.3 m

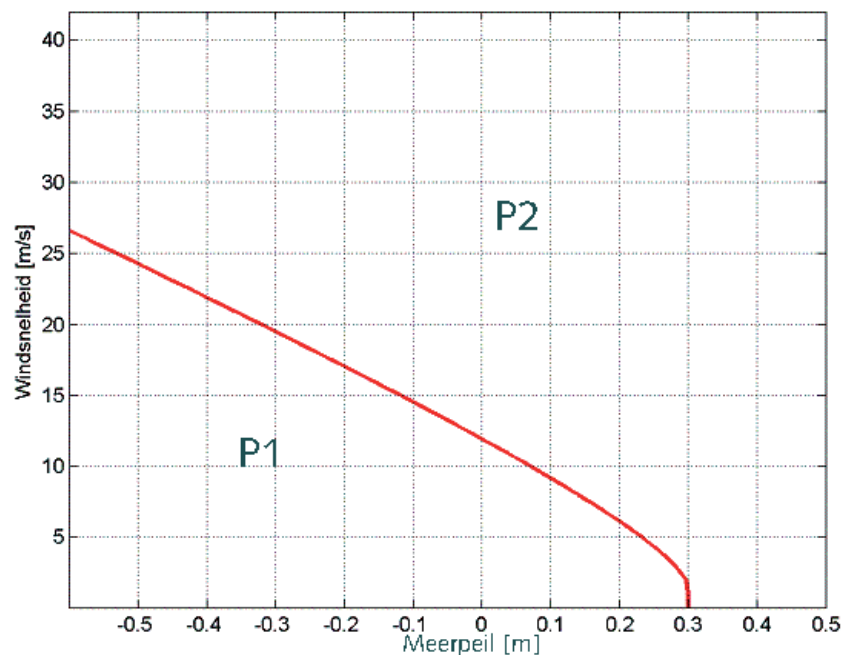
+NAP, dit is de rode lijn in de figuur. Dit belastingniveau kan bereikt worden door zowel een meerpeil van 0.3 m +NAP zonder wind als een meerpeil van -0.6 m +NAP gecombineerd met een windsnelheid van circa 27 m/s. En ook veel tussengelegen combinaties leveren dit belastingniveau. De rode lijn wordt een isolijn genoemd. Een isolijn verbindt combinaties met een gelijk belastingniveau. De combinaties op de isolijn hebben veelal geen gelijke kans van voorkomen.

Gebied P2 geeft de situaties aan dat het belastingniveau van 0.3 m wordt overschreden; gebied P1 geeft een onderschrijding van dat belastingniveau aan. De overschrijdingsfrequentie is dan de kans per jaar dat een gebeurtenis zich in gebied P2 afspeelt. Deze overschrijdingsfrequentie wordt in Hydra-M berekend met een variant van de Riemann-integratie-techniek.

Vervolgens kan dan, op basis van de berekende overschrijdingsfrequenties bij verschillende belastingniveaus, de belasting behorende bij de gezochte frequentie bepaald worden.

We zijn in dit voorbeeld uitgegaan van een situatie waar de belasting wordt veroorzaakt door slechts 2 bedreigingen. Hydra-M werkt volgens het beschreven principe maar gaat uit van 3 ipv 2 bedreigingen. Dit maakt de berekening ingewikkelder doordat Figuur 24 dan 3 dimensionaal wordt. De essentie van de rekenmethode verandert hierdoor niet.

Figuur 24
Rekenmethode Hydra-M
Vereenvoudigde rekenmethode van
Hydra-M voor een fictief voorbeeld.



Reprofuncties

Uit oogpunt van efficiëntie is een relatief beperkt aantal (216) productieberekeningen voor waterstanden en golven uitgevoerd. Om nauwkeuriger te kunnen rekenen met Hydra-M worden de productieberekeningen uitgebreid middels interpolatie. Deze

interpolatie kan op twee manieren uitgevoerd worden namelijk middels:

- eenvoudige (bilineaire) interpolatie;
- reprofuncties.

Een reprofunctie is een algemene wiskundige beschrijving van het gedrag van een fysische grootheid uit bijvoorbeeld WAQUA of SWAN als functie van de statistische randvoorwaarden. Er zijn ten behoeve van de HR 2001 reprofuncties voor het IJsselmeer opgesteld voor de waterstand, significante golfhoogte, piekperiode en de gemiddelde golfrichting.

Voor de nieuwe locaties van de Eem en IJburg is, met uitzondering van de gemiddelde golfrichting, gebruik gemaakt van de eenvoudige vorm van interpolatie. Voor de golfrichting is gebruik gemaakt van de reprofunctie. In WL I Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2005) is een vergelijking gemaakt tussen beide vormen van interpolatie. Uit deze vergelijking blijkt dat de verschillen beperkt zijn. De reprofuncties blijken van beperkte meerwaarde. Deze meerwaarde weegt voor de HR 2006 niet op tegen de daarvoor benodigde extra inspanning.

4.6.2. Beknopte beschrijving Hydra-Q

Met Hydra-Q kunnen de maatgevende golfcondities worden bepaald die moeten worden toegepast bij de toetsing van de stabiliteit van een dijkbekleding in het Merengebied. In essentie is de werking van Hydra-Q vergelijkbaar met Hydra-M. Hydra-Q berekent de maatgevende golfcondities bij gegeven frequentie en type en hoogteligging van de dijkbekleding. Hydra-Q maakt hiervoor, net als Hydra-M, gebruik van de database met maximale waterstanden en de daarbijbehorende golven. Tevens maakt Hydra-Q gebruik van de meerpeil- en windstatistiek. Zowel de database met waterstanden golven als de statistiek voor Hydra-Q is identiek aan die van Hydra-M. Niet alleen de invoer van Hydra-Q is vergelijkbaar met Hydra-M, ook de uitvoer komt in grote lijnen overeen. Het belangrijkste verschil tussen beide modellen is dat Hydra-Q maatgevende golfcondities bepaalt, terwijl Hydra-M het hydraulische-belastingniveau berekend. De met Hydra-Q bepaalde maatgevende golfcondities dienen te worden toegepast als invoer voor een geavanceerder model als bijvoorbeeld Golfklap.

4.7 Uitvoer

De uitvoer van Hydra-M bestaat afhankelijk van de uitgevoerde berekening uit:

- Een waterstand bij gegeven frequentie. Dit is het toetspeil indien de berekening is uitgevoerd voor normfrequentie.
- Een hydraulische-belastingniveau bij gegeven frequentie, dijkprofiel en kritiek overslag debiet. Dit is de benodigde kruinhoogte (exclusief toeslagen voor slingeringen en de kruinhoogtemarge) indien de berekening is uitgevoerd voor de normfrequentie, het aanwezige dijkprofiel en voor het geldende kritieke overslagdebiet.

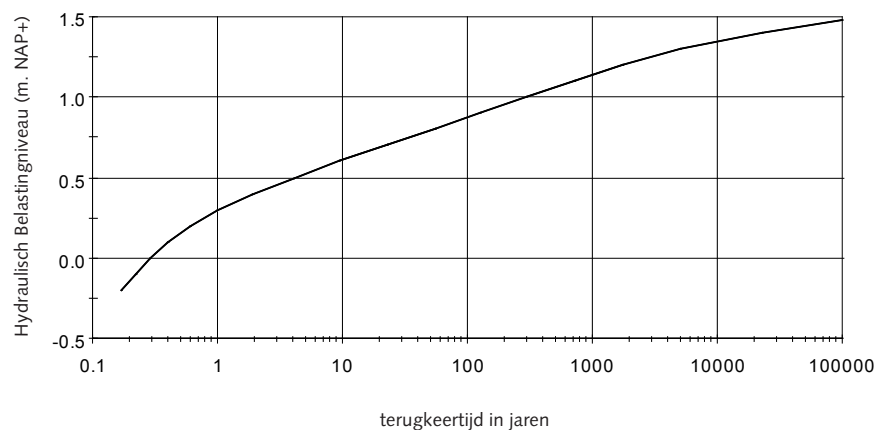
- Een illustratiepunt behorende bij de berekende waterstand of hydraulische belasting. Het illustratiepunt geeft een waarschijnlijke combinatie van belastingen waarbij de berekende waterstand of belastingniveau optreedt. Let op dit is niet de combinatie, over het algemeen zijn er nog een oneindig aantal andere combinaties waarbij ook de berekende waterstand of belasting optreedt.
- Een overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand of hydraulische belasting. Een voorbeeld van een overschrijdingsfrequentielijn is gegeven in Figuur 25.

Figuur 25

Voorbeeld van een overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand bij de monding van de Eem.

Datum	: 27/10/2006	Faalmechanisme	: WATERSTAND
Gebied	: Eem	Kritisch overstroomgebied	: 0
Locatie	: dp15.8 Raboes	Dijknormaal	: 0.0 gr tov Noord
Profielcode	: Pr_1op3_1berm	Kruishoogte	: 5.00 m tov NAP
Hydra-M	: erse 1.3		

Over schrij dingsfrequentielijn hydraulisch belastingniveau



De uitvoer van Hydra-Q bestaat uit:

- De toetsgolforcondities op een bekleding bij gegeven frequentie. De toetsgolforcondities zijn de maatgevende golforbelasting die dient als invoer voor specialistische bekledingsmodellen als bijvoorbeeld Golfklap.

4.8 Controle hydraulische randvoorwaarden

De HR 2006 voor IJburg en de Eem zijn al op verschillende momenten gedurende het proces tot vaststelling gecontroleerd. De productie berekeningen zijn, zoals beschreven in paragrafen 4.3.3 en 4.3.4, gecontroleerd op ruimtelijke consistentie en fysische correctheid. De uiteindelijk berekende toetspeilen en het hydraulische-belastingniveau zijn eveneens gecontroleerd op ruimtelijke consistentie en statistische consistentie.

Bij de controles van de toetspeilen en het hydraulische-belastingniveau op de ruimtelijke consistentie is gekeken of de toetspeilen en het hydraulische-belastingniveau een logisch en verklaarbaar ruimtelijk verloop hebben. Bij de statistische controles is gekeken of de toetspeilen en de hydraulische-belastingniveaus bij toenemende terugkeertijd ook toenemen.

Uit de controle is gebleken dat de toetspeilen en hydraulische-belastingniveaus een logisch en verklaarbaar ruimtelijk verloop kennen. Tevens nemen de toetspeilen en hydraulische-belastingniveaus toe bij toenemende terugkeertijd. Er zijn geen locaties waar de randvoorwaarden zijn afgekeurd. De uitgevoerde controles zijn nader beschreven in WL I Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2005 en 2006).

4.9 Overzicht modellen

Om te komen tot de berekening van de HR 2006 zijn verschillende modellen toegepast ten behoeve van de waterbeweging, golven en probabilistische berekeningen. De toegepaste modellen komen grotendeels overeen met de in het verleden voor de verschillende projecten toegepaste modellering. Tabel 8 geeft in tabelvorm een overzicht van alle toegepaste modelleringen voor HR 2006, de OOM-studie, de ontwerprandvoorwaarden IJburg en de studie hoogwaterstanden op de Eem. In deze tabel refereert Wind A naar het verloop volgens de OOM-studie en Wind B naar het verloop volgens onderhavig rapport (Tabel 6).

Tabel 8

Gebruikte modellering IJburg.

IJburg	1998 - 1999	1998/1999 - 2002	2005 - 2006
	OOM-studie/ HR 2001 Markermeer	Ontwerp Randv. IJburg	HR 2006 IJburg
Waterstands- model	Delft2D (wind A)	Delft2D* (wind A)	WAQUA (wind B)
Golfmodel	HISWA	SWAN	SWAN (verbeterde golfperiode)
Probabilistisch model Hoogte	Hydra-M	Hydra-M	Hydra-M
Probabilistisch model Bekledingen	Hydra-Q (alleen HR 2001)	-	Hydra-Q

* Eigenlijk was dit Delft3D in 2D modus

Tabel 9

Gebruikte modellering Eem.

Eem	2000 Hoogwaterstanden Eem	2005 - 2006 HR 2006 Eem
Waterstandsmodel	SOBEK (wind A)	WAQUA (wind B)
Golfmodel	-	1 dimensionaal
Probabilistisch model Hoogte	-	Hydra-M
Probabilistisch model Bekledingen	-	Hydra-Q

.....
Tabel 10

Overzicht modellering HR 2006.

	Nieuw in HR 2006		HR 2006 uit HR 2001	
	IJburg	Eem	IJsselmeer	Markermeer
Waterstandsmodel	WAQUA	WAQUA	WAQUA	Delft2D
Golfmodel	SWAN	Bretschneider	HISWA	HISWA
Probabilistisch model Hoogte	Hydra-M	Hydra-M	Hydra-M	Hydra-M
Probabilistisch model Bekledingen	Hydra-Q	Hydra-Q	Hydra-Q	Hydra-Q

5. De resultaten van HR 2006

Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van HR 2006. Tevens worden de verschillen tussen de HR 2006 en de HR 2001, het onderzoek hoogwaterstanden op de Eem en de ontwerprandvoorwaarden IJburg behandeld.

5.1 De hoofdproducten

5.1.1. Het boek

De HR 2006 worden vastgesteld middels het Hydraulische Randvoorwaardenboek 2006 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007). Voor het merengebied zijn hierin de toetspeilen opgenomen.

5.1.2. De rekenmodellen Hydra-M en Hydra-Q

De HR 2006 voor de Meren bestaan naast het randvoorwaardenboek tevens uit de computer programma's Hydra-M en Hydra-Q en de bijbehorende databases. Met Hydra-M kan, bij gegeven terugkeertijd, dijkprofiel en faalmechanisme, de hydraulische belasting op een dijk langs de Meren worden bepaald. Met Hydra-Q kunnen de maatgevende golfcondities worden bepaald die moeten worden toegepast bij de toetsing van de stabiliteit van een dijkbekleding in het Merengebied. Beide modellen zijn te vinden op de DVD behorende bij het Randvoorwaardenboek 2006.

Zowel Hydra-M als Hydra-Q zijn reeds met de HR 2001 uitgeleverd. Voor HR 2006 zijn de modellen op enkele punten aangepast. Deze aanpassingen hebben te maken met de gebruikersvriendelijkheid, de verbetering van de in de modellen gehanteerde terminologie en de uniformiteit tussen de Hydra-modellen in het algemeen. De belangrijkste aanpassingen aan Hydra-M zijn het verwijderen van de kruinhoogtemarge (ook wel waakhogte genoemd), de vernieuwing van de voorlandmodule en de vervanging van de Run-up module door PC-Overslag.

De waakhogte is uit Hydra-M verwijderd omdat is gebleken is dat de waakhogte foutief werd gebruikt en zorgde voor onnodige verwarring. PC-Overslag is in Hydra-M opgenomen omdat dit het vastgestelde instrument is. Inhoudelijk is PC-Overslag geavanceerder dan de oorspronkelijke golfploop/golfoverslag modellering zoals die was opgenomen in Hydra-M v 1.1 behorende bij de HR 2001. De voorlandmodule is vernieuwd omdat de oude soms onbetrouwbare resultaten gaf. Hydra-Q is technisch inhoudelijk niet veranderd, allen de voorlandmodule is aangepast.

In de toekomst zullen Hydra-M en Hydra-Q naar verwachting opgaan in een landelijk Hydra-Model voor de zoete wateren: Hydra-Zoet. Bij deze verandering zullen beide modellen zowel qua gebruikersinterface

als technisch inhoudelijk worden verbeterd en verder worden geüniformeerd ten opzichte van de Hydra's voor de overige Nederlandse watersystemen.

5.1.3. Waterstanden voor geotechnische faalmechanismen

Voor geotechnische faalmechanismen is vaak de langdurig aanhoudende waterstand van belang. In het Randvoorwaardenboek 2006 zijn deze waterstanden gegeven voor zowel het IJsselmeer als het Markermeer en voor verschillende overschrijdingsfrequenties. De opgenomen waterstanden zijn gelijk aan de meerpeilen die met de gevraagde overschrijdingsfrequentie worden overschreden. Hiervoor is de bestaande meerpeilstatistiek gebruikt.

5.1.4. Waterstandsverlopen

In het kader van de HR 2006 is in samenwerking met GeoDelft een concept methode afgeleid voor het bepalen van waterstandsverlopen voor geotechnische faalmechanismen (GeoDelft, 2005). Naar verwachting zal de nieuwe methode in HR 2011 ingezet worden. Er worden geen nieuwe waterstandsverlopen opgeleverd met de HR 2006.

5.2 De HR 2006

In de komende paragrafen wordt een overzicht van de hydraulische randvoorwaarden 2006 van de nieuw aan de Meren toegevoegde gebieden gegeven.

5.2.1. Toetspeilen

Eem

De toetspeilen op de Eem dienen te worden gebruikt bij de toetsing van dijkkring 45 (Gelderse Vallei) en dijkkring 46 (Eempolder). Beide dijkringen hebben een normfrequentie van 1/1250 per jaar. De toetspeilen op de as van de Eem behorende bij de normfrequentie variëren van 1.0 m +NAP op een locatie op enkele kilometers voor de monding tot 1.7 m +NAP bij Amersfoort.

De regionale keringen van de Eemvallei overstroomd beperkt onder maatgevende hydraulische omstandigheden behorende bij de normfrequentie. Het is niet bekend of de regionale keringen onder dergelijke omstandigheden doorbreken. Het is hierdoor niet mogelijk de belasting op de primaire waterkering van dijkkring 46 te bepalen. Voor het toetsen van dijkkring 46 is derhalve nog een vertaalslag nodig van de as van de Eem naar de primaire waterkering van dijkkring 46. In overleg met de waterkeringbeheerder heeft de TC-Rand besloten deze vertaalslag door de waterkeringbeheerder en de provincie gezamenlijk te laten uitvoeren (TC-Rand beslissing, 27 juni 2006).

Figuur 26 geeft een overzicht van de ruimtelijke verdeling van de toetspeilen op de Eem voor de frequentie 1/1250 per jaar. Het is opvallend dat de toetspeilen gezien van uit Amersfoort 0.7 m afnemen tot circa 5 km van de monding. In de laatste kilometers voor de monding nemen de toetspeilen weer 0.2 meter toe. Dit opmerkelijke verloop van de toetspeilen wordt veroorzaakt door het vollopen van de buitendijkse polders vanuit de Eem. Daarnaast spelen lokale windeffecten op de Eem een rol.

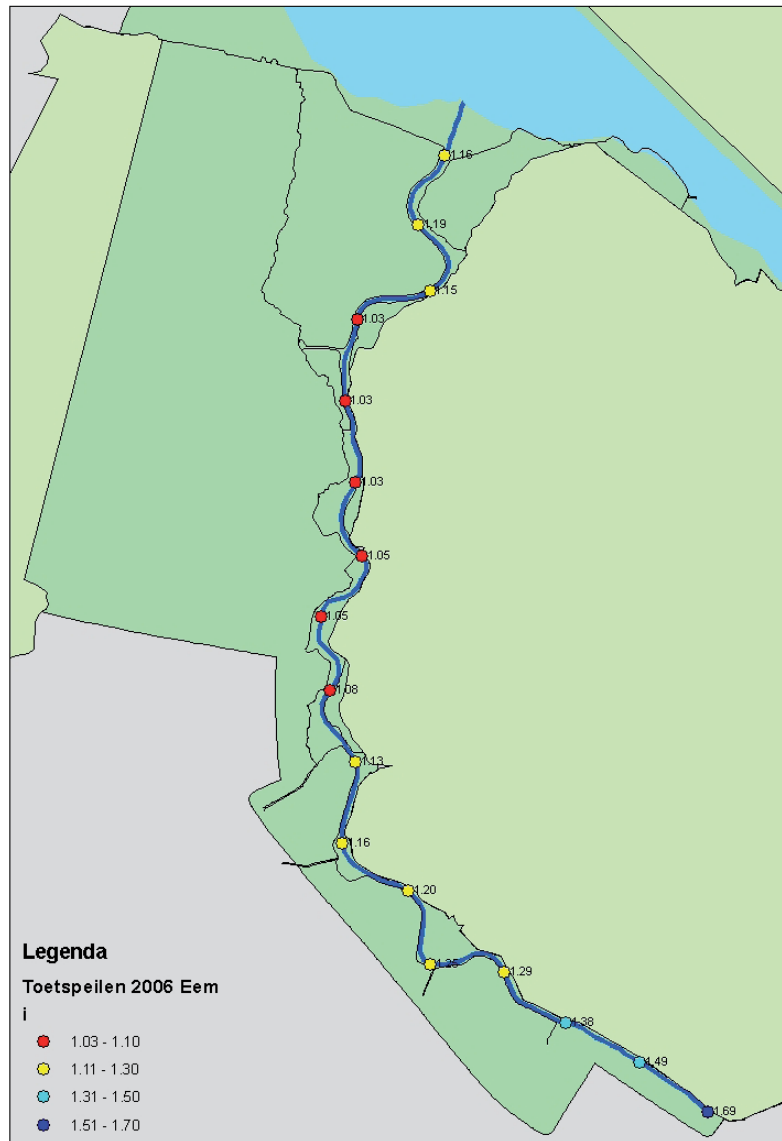
De buitendijkse polders beginnen met vollopen als de waterstand op de Eem hoger wordt dan de laagste regionale keringen langs de Eem. De laagste keringen hebben een hoogte van 1.0 m +NAP. Deze keringen liggen aan de westzijde van de middenloop van de Eem (3 tot 8 km van de monding). De toetspeilen zijn in dit traject, als gevolg van het vollopen van de buitendijkse gebieden, ongeveer gelijk aan de hoogte van de regionale keringen.

Naast het vollopen van de buitendijkse gebieden speelt lokale opwaaiing op de Eem een rol. De wind stuwt het water op de Eem in de richting van Amersfoort. Deze opstuwing en de afvoer van de Eem zorgen er samen voor dat de toetspeilen 0.7 meter afnemen in de eerste 8 km benedenstrooms van Amersfoort.

De berging in de buitendijkse polders beïnvloedt tevens de waterstand overschijdingsfrequentielijnen voor de Eem. Normaal gesproken kennen waterstand overschijdingsfrequentielijnen een min of meer lineair logaritmisch verloop. De berging in de buitendijkse polders is echter afhankelijk van de terugkeertijd: hoe groter de terugkeertijd hoe meer berging er optreedt in de buitendijkse gebieden. Deze afhankelijkheid maakt dat de overschijdingsfrequentielijnen voor de grotere terugkeertijden geen logaritmisch lineair verloop meer kennen. De overschijdingsfrequentielijnen kennen een knik. In Figuur 27 is dit geïllustreerd voor 9 overschijdingsfrequentielijnen op de Eem met een interval van 2 kilometer. De nummering van de lijnen is gemeten vanaf de monding.

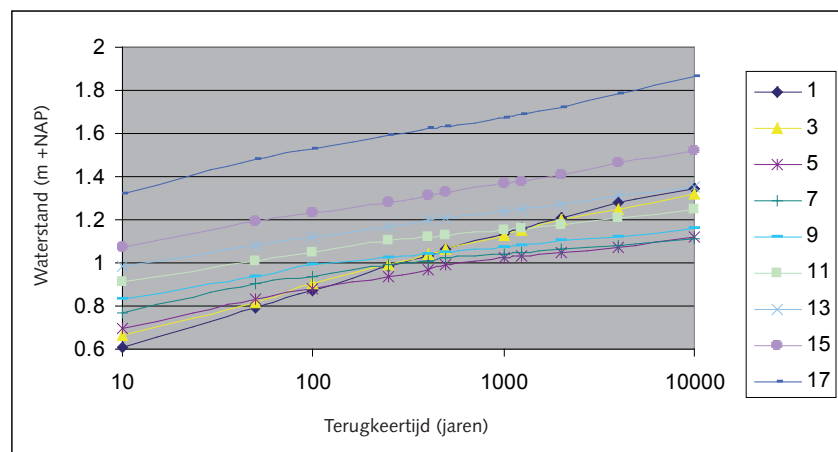
Figuur 26

Onafgeronde toetspeilen op de Eem.



Figuur 27

Waterstandoverschrijdingsfrequentielijnen voor de Eem. De individuele lijnen komen overeen met de afstand in km vanaf de monding van de Eem.



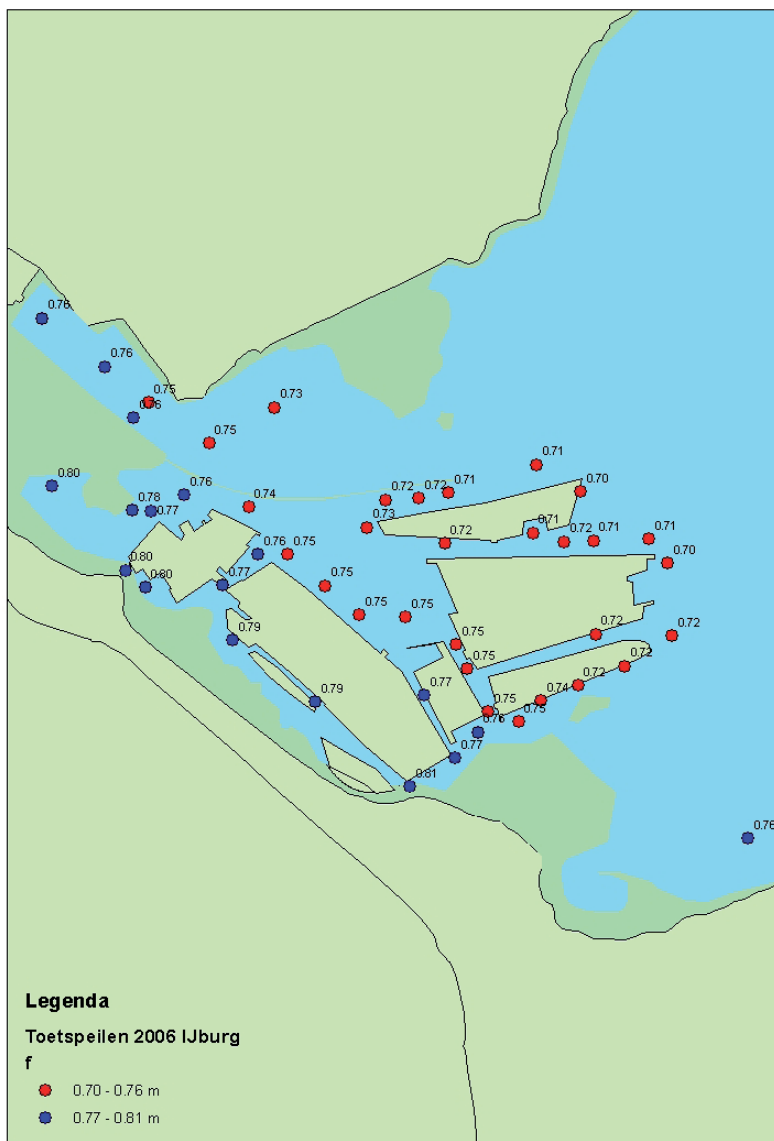
IJburg

De toetspeilen in de omgeving van IJburg dienen te worden gebruikt voor de toetsing van dijkkring 13: Noord-Holland, 13 a : IJburg en dijkkring 44: Kromme Rijn. De toetspeilen in de omgeving van IJburg variëren van 0.6 tot 0.7 m +NAP bij de frequenties 1/1250 en 1/4000: de normfrequentie voor respectievelijk dijkkring 44 en dijkkring 13a. Voor de normfrequentie van dijkkring 14 (1/10000) zijn de toetspeilen in de orde van grootte van 0.8 tot 0.9 m +NAP.

Figuur 28 geeft een overzicht van de ruimtelijke verdeling van de toetspeilen in de omgeving van IJburg voor de frequentie 1/4000.

Figuur 28

Onafgeronde toetspeilen in de omgeving van IJburg behorende een frequentie van 1/4000.



In Bijlage A zijn de toetspeilen voor alle meren gegeven. Bijlage B geeft een overzicht van de decimeringshoogten van de toetspeilen.

5.2.2. Hydraulische-belastingniveau

De benodigde kruinhoogte van een dijk wordt over het algemeen niet bepaald door het toetspeil maar door het hydraulische-belastingniveau: dit is de som van de belasting door waterstand en golven. Het hydraulische-belastingniveau is afhankelijk van ondermeer de ligging, oriëntatie en de geometrie van de dijk, alsmede van het toelaatbare overslagdebiet en de dijkringfrequentie. Het is dan ook niet mogelijk in de hydraulische randvoorwaarden een tabel met hydraulische-belastingniveaus op te nemen.

Voor het verkrijgen van inzicht is het hydraulische-belastingniveau ideaal. Het hydraulische-belastingniveau wordt namelijk uitgedrukt in één dimensie (meters boven NAP), en is daarmee bijzonder geschikt voor grafische overzichten. Daarvan zal in dit hoofdstuk dankbaar gebruik van worden gemaakt. Ten behoeve van de uniformiteit zal voor alle locaties dezelfde fictieve dijk worden gekozen, met een 1 op 4 talud en een grasbekleding. De bijbehorende fictieve hydraulische-belastingniveaus zullen grafisch worden gepresenteerd.

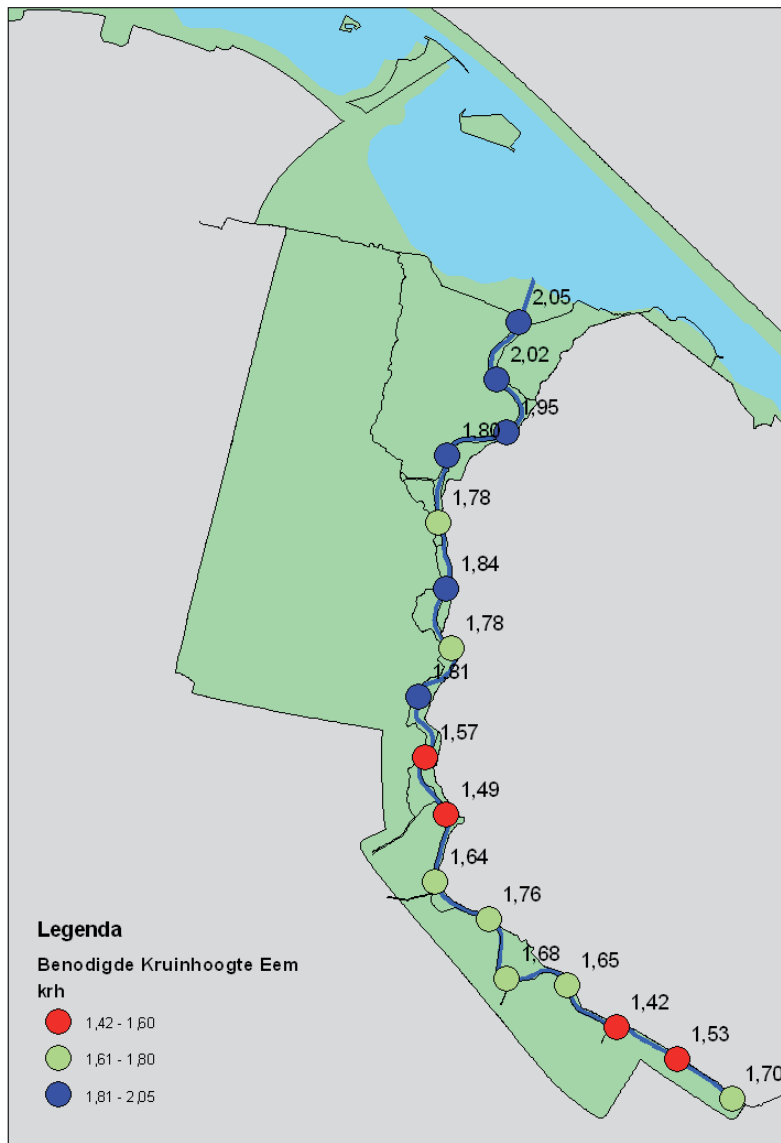
Met nadruk wordt er op gewezen dat de hier gepresenteerde fictieve hydraulische-belastingniveaus beslist niet als de werkelijke benodigde kruinhoogte geïnterpreteerd mag worden.

Eem

De fictieve hydraulische-belastingniveaus zijn voor de Eem is slechts te bepalen voor de primaire waterkering van dijkring 45. De waarden variëren tussen de 1.2 m +NAP en 1.7 m +NAP, afhankelijk van de locatie (Figuur 29).

Figuur 29

Fictieve hydraulische-
belastingniveaus voor de Eem,
in meters boven NAP.

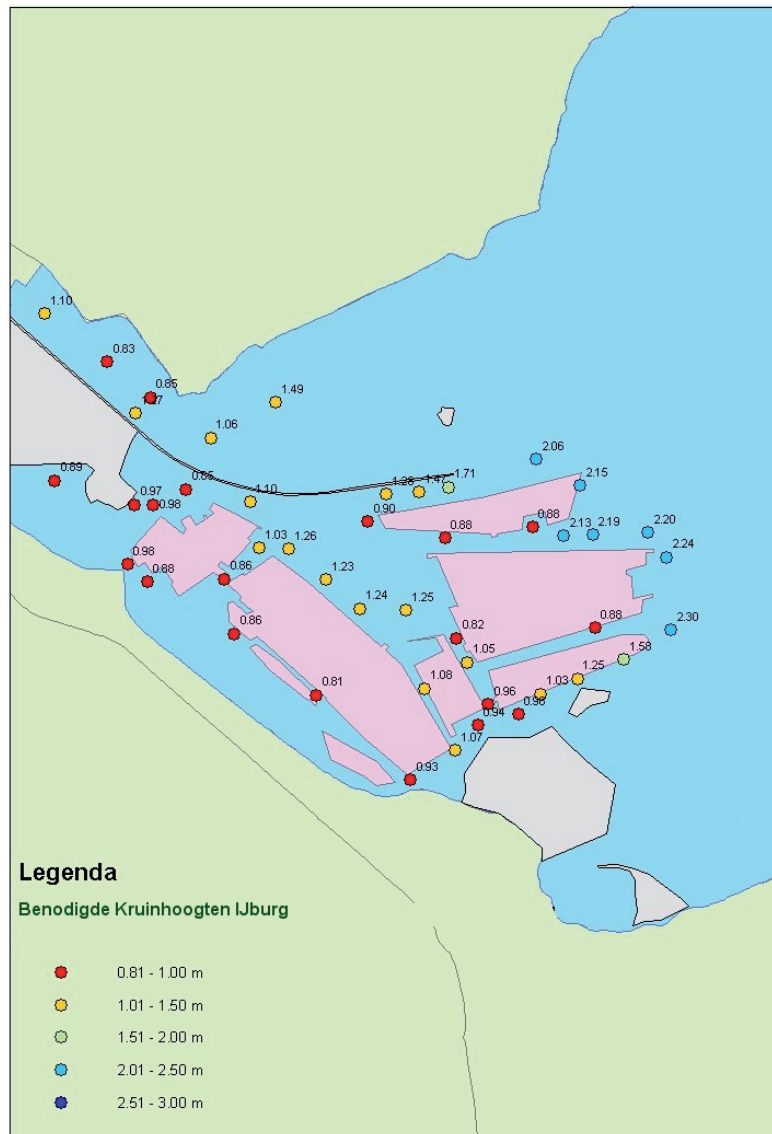


IJburg

Het fictieve hydraulische-belastingniveau voor IJburg varieert tussen 0.8 m +NAP tussen IJburg en de Diemerzeedijk en 2.3 m +NAP aan de meest noordoostelijke punt van IJburg. In het beschermde binnengebied van IJburg is het fictieve hydraulische-belastingniveau in dezelfde orde van grootte als het toetspeil. Voor het noordelijke geëxposeerde deel van IJburg is het fictieve hydraulische-belastingniveau boven NAP tot een factor 3 hoger dan het toetspeil. Figuur 30 geeft de fictieve hydraulische-belastingniveaus voor IJburg.

In Bijlage B wordt een overzicht gegeven van de decimeringshoogten van de hydraulische-belastingniveaus.

Figuur 30
Fictieve Hydraulische-
Belastingniveaus IJburg.



5.2.3. Golfbelasting op bekledingen

De HR 2006 bestaan naast toetspeilen en het hydraulische-belastingniveau ook uit de maatgevende golfbelasting op bekledingen. De maatgevende golfbelasting voor het toetsen van de bekleding is sterk afhankelijk van het type bekleding, de oriëntatie van de dijk maar ook de hoogte van de bekleding op de dijk. Het is daarom niet mogelijk de ruimtelijke spreiding in de HR 2006 voor bekledingen overzichtelijk te presenteren in een kaart.

Bij de toetsing dient de gebruiker Hydra-Q toe te passen; er worden in het randvoorwaardenboek 2006 geen waarden gegeven.

5.3 Vergelijking HR 2006 met HR 2001

5.3.1. IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer, Markermeer, Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw

Voor het IJsselmeer, Ketelmeer, Vossemeer, Markermeer, Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw worden de HR 2006 overgenomen uit HR 2001, er dus vindt dus geen herberekening plaats. Voor deze Meren is er dus zowel qua methode als numeriek geen verschil tussen de HR 2006 en de HR 2001.

5.3.2. IJburg

Voor IJburg is geen volledige vergelijking tussen de HR 2006 en HR 2001 mogelijk omdat er voor het eerst hydraulischerandvoorwaarden voor IJburg worden afgeleid. Om inzicht te krijgen in de verschillen tussen de HR 2006 en de in het verleden berekende hydraulische randvoorwaarden is een vergelijking gemaakt tussen:

- De waarden die in deze studie zijn uitgerekend voor locaties nabij IJburg en de HR 2001. Merk daarbij op dat de eerstgenoemde waarden niet in de HR 2006 zijn opgenomen, indien er een waarde vanuit HR 2001 beschikbaar was, maar de waarde voor HR 2001 opnieuw is opgenomen. Dit omdat beleidsmatig gekozen is voor het overnemen van HR 2001 in de HR 2006 (met uitzondering van IJburg en de Eem).
- De HR 2006 en de ontwerprandvoorwaarden IJburg op de locaties behorende bij de ontwerprandvoorwaarden IJburg (dit betreft locaties die **wel** zijn opgenomen in de HR 2006)

Opgemerkt wordt dat de HR 2001 en de ontwerprandvoorwaarden IJburg qua toetspeil consistent zijn, echter qua golfbelasting verschillen, als gevolg van het toepassen van respectievelijk HISWA en SWAN. Op vergelijkbare locaties is daar door het fictieve hydraulische-belastingniveau² volgens HR 2001 3 á 4 decimeter hoger dan volgens de ontwerprandvoorwaarden IJburg.

Figuur 31 en Figuur 32 geven een overzicht van de locaties en de verschillen in toetspeilen en fictieve hydraulische-belastingniveaus. Daarbij geven de locaties links van de rode lijn de verschillen tussen HR 2006 en de ontwerprandvoorwaarden IJburg. De locaties rechts van de lijn geven het verschil tussen de HR 2006 en de HR 2001. Deze verschillen zijn **niet** terug te vinden in het randvoorwaardenboek 2006 en Bijlage A omdat voor deze locaties de HR 2001 zijn overgenomen.

.....
² Voor de vergelijking is gebruik gemaakt van één parameter die de verschillen tussen HR 2006 en HR 2001 kan beschrijven: het fictieve hydraulische belastingniveau. Deze is bepaald voor fictieve dijkprofielen met een 1 op 4 standaard taludhelling en een gras bekleding. De fictieve hydraulische belastingniveaus hebben dus geen absolute waarde maar zijn zeer geschikt voor verschil analyses.

De verschillen kunnen als volgt worden samengevat:

1. De Toetspeilen HR 2006 zijn 0 tot 0.1 meter hoger dan HR 2001 en de ontwerprandvoorwaarden IJburg.
2. De fictieve hydraulische-belastingniveaus zijn voor HR 2006 0.1 tot 0.3 meter hoger dan bij de ontwerprandvoorwaarden IJburg.

De lichte verhoging van het toetspeil wordt veroorzaakt door de overstap van Delft2d naar WAQUA en de aanpassing van de windschematisatie. De verhoging van het fictieve hydraulische-belastingniveau wordt veroorzaakt door het gebruik van de alternatieve white-capping formulering van Rogers et. al. (2002) in SWAN. Met de nieuwe SWAN instellingen wordt een langere golfperiode (T_p) berekend waardoor de hydraulische-belastingniveaus van HR 2006 enkele decimeters hoger uitvallen dan ontwerprandvoorwaarden IJburg.

Mogelijk ten overvloede: de geconstateerde verschillen zijn slechts voor de nieuwe locaties bij IJburg echt van belang. Immers voor de overige locaties worden de randvoorwaarden van 2001 overgenomen.

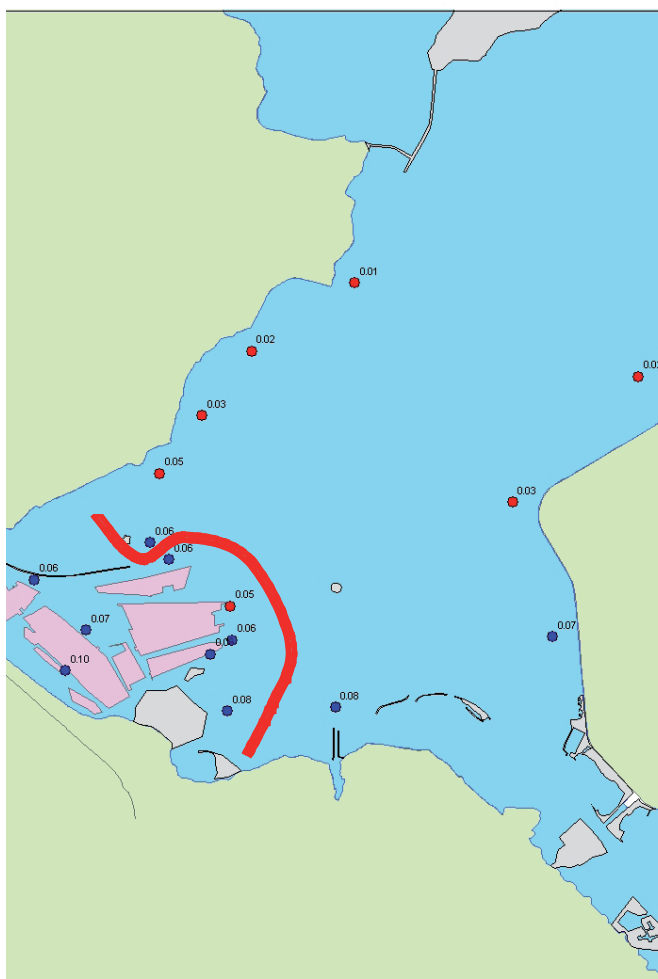
Voor een gedetailleerde vergelijking tussen HR 2006 en HR 2001 wordt verwezen naar WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2005)

Figuur 31

Verskil in toetspeilen bij IJburg.

Voor de locaties links van de rode lijn is het verschil tussen de nieuw berekende waarden en de ontwerprandvoorwaarden IJburg gegeven. De nieuw berekende waarden zijn opgenomen in de HR 2006.

Voor de locaties rechts van de rode lijn is het verschil tussen de nieuw berekende waarden en HR 2001 gegeven. Deze verschillen zijn niet terug te vinden in de HR 2006 omdat voor deze locaties de HR 2001 zijn overgenomen.

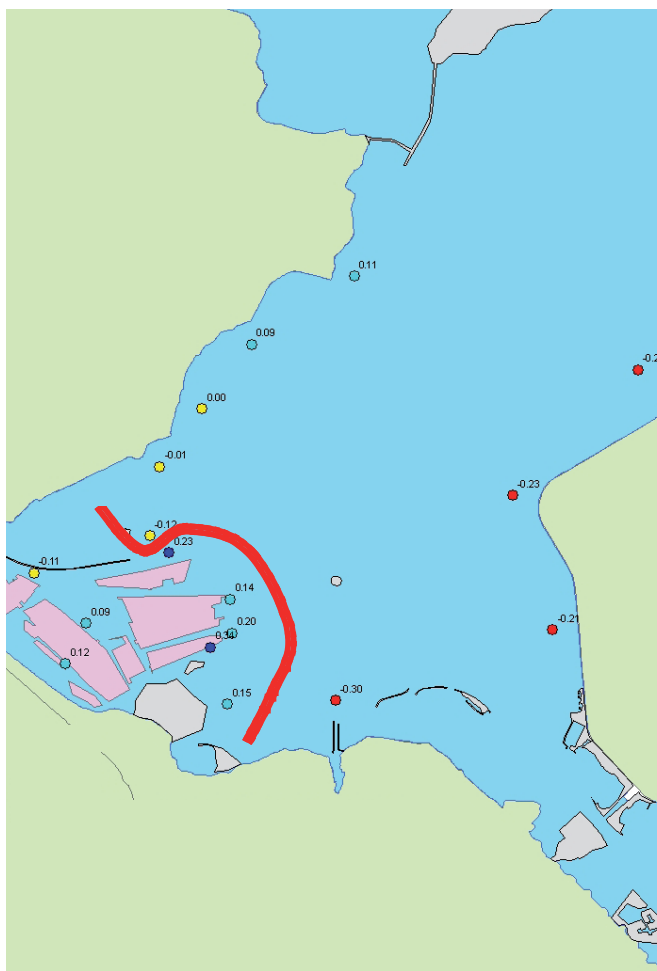


Figuur 32

Verskil in fictieve hydraulische-belastingniveaus in meters.

Voor de locaties links van de rode lijn is het verschil tussen de nieuw berekende waarden en de ontwerprandvoorwaarden IJburg gegeven.

Voor de locaties rechts van de rode lijn is het verschil tussen de nieuw berekende waarden en HR2001 gegeven.



5.3.3. Eem

Voor de Eem is geen volledige vergelijking tussen de HR 2006 en HR 2001 mogelijk omdat er voor het eerst hydraulische randvoorwaarden voor de Eem worden afgeleid. Om inzicht te krijgen in de verschillen tussen de HR 2006 en de in het verleden berekende benaderingen van de hydraulische randvoorwaarden, is een vergelijking gemaakt tussen de HR 2006 en de studie Hoogwaterstanden op de Eem (WL | Delft Hydraulics, 2000).

In Figuur 33 zijn de toetspeilen 2006 als mede de door WL geschatte waterstanden met een terugkeertijd van eens in de 1250 jaar gegeven. De toetspeilen komen redelijk overeen met de door WL geschatte waterstanden. De bevindingen zijn:

- De toetspeilen zijn 0.1 m hoger bij Amersfoort
- De toetspeilen zijn -0.2 m lager op circa 5 kilometer van de monding.

De verhoging van het toetspeil nabij Amersfoort wordt veroorzaakt door:

- De toepassing van een hogere constante Eemafvoer.
- De 2 dimensionale waterstand modellering die rekening houdt met wind effecten op de Eem waardoor er bij Amersfoort opwaaiing optreedt.

De verlaging van het toetspeil op enkele kilometers van de monding wordt veroorzaakt door:

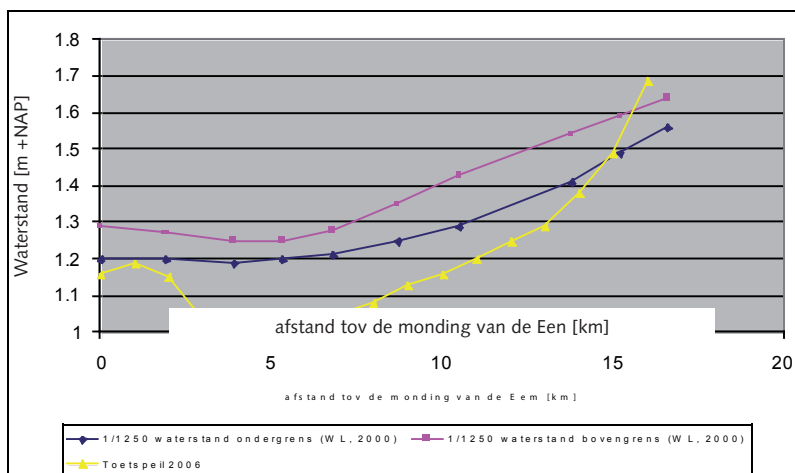
- De buitendijkse polders langs de Eem in dit traject inunderen. Deze inundatie is beperkt maar heeft wel een verlagend effect op het toetspeil. De in de door WL gebruikte hoogte van de regionale keringen is tot 0.4 m hoger dan de voor HR 2006 opnieuw ingemeten en gebruikte hoogten. Paragraaf 6.2 gaat in op de gevoeligheid van de toetspeilen voor aanwezigheid en hoogte van de regionale keringen.
- De 2 dimensionale waterstand modellering die rekening houdt met wind effecten op de Eem waardoor er op dit traject enige afwaaiing optreedt (zie Figuur 15).

Het gecombineerde effect van de verhoging door afvoer en wind en de verlaging door inundatie van de buitendijkse polders zorgt voor een toename van het verhang in het toetspeil van circa 0.2 meter.

Voor een verdere vergelijking tussen HR 2006 en HR 2001 wordt verwezen naar WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2005 en 2006).

Figuur 33

Vergelijking toetspeilen HR 2006 en hoogwaterstanden op de Eem.



6. Gevoeligheidsanalyses

6.1 Inleiding

In het kader van de HR 2006 zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd naar:

- a) gevoeligheid van de HR op de Eem en het Eemmeer, voor de aanwezigheid en hoogte van de regionale keringen in de Eemvallei
- b) gevoeligheid van de HR op de Eem, voor afvoer van de Eem.
- c) gevoeligheid van de HR voor veranderingen in de wind.

In de onderstaande paragrafen worden de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses behandeld.

6.2 Aanwezigheid en hoogte regionale keringen

De aanwezigheid en de hoogte van de regionale keringen in de Eemvallei hebben een significante invloed op de HR op de Eem en het Eemmeer. Voor waterstanden met een kans van voorkomen van 1/1250 per jaar heeft de **aanwezigheid** van de keringen een verhogend effect van 0.1 tot 0.5 meter op de Eem en 0.2 meter op het Eemmeer. Deze verhoging wordt veroorzaakt doordat de keringen de mogelijkheid tot berging van water in de buitendijkse Eempolders sterk verminderen. Slechts bij zeer extreme stormen met een frequentie kleiner dan 1/1250 treedt in alle buitendijkse polders volledige inundatie op door overstroming van de regionale waterkeringen. Bij omstandigheden met een frequentie gelijk aan de norm treedt slechts beperkte inundatie op. Opgemerkt wordt dat zowel bij de bepaling van de HR als bij de gevoeligheidsanalyses is uitgegaan van overlopen: de regionale keringen falen niet. Aan de hand van de uitgevoerde berekeningen kan geen uitspraak gedaan worden over de stabiliteit van de regionale waterkeringen en grootschalige instroming als gevolg van het breken van de regionale keringen. Voor een gedetailleerdere beschrijving zie Witteveen en Bos (2006 a en b).

Niet alleen de aanwezigheid maar ook de **hoogte** van de regionale keringen heeft een aanzienlijk effect op de maximale waterstanden. De oorspronkelijk, in 2004, voor WAQUA gebruikte hoogten zijn afgeleid op basis van het AHN (Alkyon en Meander, 2004). In 2005 en 2006 zijn de regionale keringen nauwkeurig ingemeten met behulp van FlyMap. De nieuw ingemeten hoogten blijken lokaal aanzienlijk te verschillen van de in 2004 gehanteerde hoogten. De nieuw ingemeten hoogten zijn in de middenloop circa 0.4 tot 0.5 meter lager. In de bovenloop van de Eem nabij Amersfoort zijn de nieuwe hoogten lokaal zelfs 1.1 tot 1.2 meter lager.

Gezien de gevoeligheid van de toetspeilen op de Eem voor de hoogte van de regionale keringen is in 2006 besloten de HR voor de Eem te herberekenen aan de hand van de nieuw beschikbaar gekomen

FlyMap gegevens. In deze rapportage zijn slechts de herberekende HR 2006 gepresenteerd. De nieuwe hoogten resulteren tot 0.5 m lagere toetspeilen (Witteveen en Bos, 2006 a; WL I Delft Hydraulics en Witteveen en Bos, 2006). De origineel berekende toetspeilen zijn beschreven in WL I Delft Hydraulics en Witteveen en Bos (2005 en 2006).

6.3 Gevoeligheid voor afvoer van de Eem

De gevoeligheid van de HR op de Eem voor de afvoer is onderzocht voor:

- Afvoeren behorende bij verschillende terugkeertijden (Alkyon en Meander, 2004)
- Afvoeren met een 1/1 jaar overschrijdingsfrequentie, bepaald op basis van een 1,2 of 3 daagse middeling van de afvoer. (Witteveen en Bos, 2006)

De HR op de Eem blijken met name tussen Eembrugge en Amersfoort gevoelig voor de afvoer, benedenstrooms van Eembrugge is de wind van dominant belang.

Voor de HR 2006 is gebruik gemaakt van een constante Eemafvoer van 75 m³/s, het geen overeenkomt met een 1 daagse middeling van de afvoer van de Eem die gemiddeld 1 keer per jaar wordt overschreden. Indien er gebruik gemaakt wordt van een 2 of 3 daagse middeling dalen de toetspeilen respectievelijk circa 0.15 en 0.2 meter nabij Amersfoort³. Er is besloten vast te houden aan de 1 daagse middeling omdat de gehanteerde stormduur in dezelfde orde van grote is: 22 uur. Opgemerkt wordt dat de onzekerheden in de overige aspecten van de HR groter dan het effect van de middeling van de afvoer.

.....
³ Deze daling treedt op bij de oorspronkelijk berekende toetspeilen op de Eem met de "oude" hoogten van de regionale keringen, dat wil zeggen op basis van het AHN.

7. Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het project hydraulische randvoorwaarden 2006 Meren had als hoofddoel het leveren van nieuwe en breed geaccepteerde hydraulische randvoorwaarden voor de Meren. Met de vaststelling van het randvoorwaardenboek 2006 (ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007), het uitkomen van deze rapportage en het met de watersysteemgroep Meren gepleegde overleg is dit doel bereikt. De HR 2006 voor de Meren zijn overgenomen uit de HR 2001 en aangevuld met de omgeving van IJburg en de Eem. De HR 2006 voor de Meren verschillen op enkele rekentechnische aspecten van de HR 2001, de ontwerprandvoorwaarden IJburg en de studie hoogwaterstanden op de Eem. De verschillen zijn verklaard en geaccepteerd door de betrokken partijen.

7.2 Aanbevelingen

7.2.1. Inhoudelijk

De hydraulische randvoorwaarden 2006 Meren zijn een product dat ontstaan is in periode van 1998 tot 2006. In deze periode is er door verschillende partijen en in verschillende projecten aan de HR voor de Meren gewerkt. Dit heeft er toe geleid dat er de methoden per gebied op enkele onderdelen verschillen. De belangrijkste verschillen liggen in de toepassing van HISWA, SWAN, Bretschneider en de windmodellering. Het wordt aanbevolen voor HR 2011 de gehele Meren te herzien en tot één uniforme methode te komen. Hierbij is specifiek aandacht nodig voor:

- Verbetering van kennis ten aanzien van de wind en implementatie van die kennis in HR 2011.

7.2.2. Wensen

In de watersysteemgroep Meren zijn de volgende wensen geuit met betrekking tot de te leveren producten in 2011.

- Bepaling meerpeilstatistiek aan de hand van de statistiek van de randvoorwaarden (zeestand, neerslag, IJsselafvoer).
- Meenemen consequenties gereedkomen spui afsluitdijk in de meerpeilstatistiek (het spui is 2014 gereed).
- Planstudie afsluitdijk: wellicht andere golfoverslag Afsluitdijk (afhankelijk van geplande maatregelen aan de Afsluitdijk)
- Gekozen oplossing bij MER Toekomstige Veiligheid Zuidelijke Randmeren meenemen (indien noodzakelijk).
- Oplevering van HR voor IJsselmeer zijde Afsluitdijk.
- Oplevering van maatgevend verval over de verbindende waterkeringen.

-
- Oplevering van ontwerprandvoorwaarden voor de Meren voor 50 en 100 jaar.
 - Versoepeling van de profieleisen in Hydra-M onder andere door een verdergaande afstemming met PC-Overslag.
 - Helderheid over omgaan met toetsing van Categorie C-keringen. Randvoorwaarden voor categorie C keringen opgenomen in het randvoorwaardenboek.
 - Opleveren van het maatgevende waterstandsverloop.

8. Referenties

- Alkyon & Meander, 2005 a.** Uitbreiding WAQUA-schematisatie Markermeer, fase 2. Definitieve schematisatie en afregeling stromingsmodel. Alkyon rapport A1382.
- Alkyon & Meander, 2005 b.** Uitbreiding WAQUA-schematisatie Markermeer, fase 3. Afleiden afvoer Eem t.b.v. productiesimulaties. Alkyon rapport A1382.
- Bottema, M. 2004.** Testmemo SWAN40.20a. RWS RIZA Werkdocument 2004.090.X
- Directie Zuiderzeewerken en DBW/RIZA, 1986.** Achtergronden veiligheidsnormen Dijken IJsselmeer.
- DWW, 2007.** Veranderingen en consequenties van nieuwe Hydraulische Randvoorwaarden. Achtergrondrapport HR 2006. DWW-2007-017.
- Geerse, C.P.M, 2006.** Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Vecht- en IJsseldelta; Statistiek IJsselmeerpeil, afvoeren en stormverlopen voor Hydra-VIJ. RWS RIZA werkdocument 2006.036x
- Geodelft, 2005.** Waterstandsverloop IJsselmeer / Hydraulische Randvoorwaarden t.b.v. grondmechanische toetsing van dijken. Rapport 419250.007 v04.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996.** Hydraulische Randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001.** Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007.** Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen. In voorbereiding.
- Wieringa, J en P.J. Rijkoort, 1983.** Windklimaat van Nederland. KNMI.
- Rogers, W.E., P.A. Hwang, D.W. Wang, 2002.** Investigation of wave growth and decay in the SWAN model: three regional scale applications, J. Phys. Oceanogr. 33., 366-389.
- RWS IJG, 2005.** Actueel dieptebestand IJsselmeergebied.
- RIZA, 1999.** Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied. Hoofdrapport en deelrapporten 1 t/m 10. RIZA rapport 99.037 t/m 99.047.
- TAW, 1989.** Leidraad voor het ontwerpen van Rivierdijken.
- Vlag, D.P. en C.I. Bak, 2004.** ProMoVera: Probabilistisch Model voor de Veluwerandmeren. RWS RIZA werkdocument 2004.089x.
- Wet op de waterkering, 2005.** Staatsblad 2005 275, 28 september 2005.
- Witteveen en Bos, 2006a.** Effect secundaire keringen en Eem-afvoer, gevoeligheidsanalyse HR 2006 Meren, nr 2.
- Witteveen en Bos, 2006b.** Aanvullende WAQUA berekeningen MER Veiligheid Zuidelijke Randmeren.
- Witteveen en Bos, 2004.** Advies golfrandvoorwaarden IJburg.
- WL | Delft Hydraulics, 2000.** Hoogwaterstanden op de Eem. H3658.

WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos, 2005.

Productieberekeningen Hydraulische Randvoorwaarden 2006. IJburg en de Eem (RI-4393A). WL-rapport Q4008.00.

WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos, 2006. Herberekening concept Hydraulische Randvoorwaarden 2006 Meren. Eem en Eemvallei (RI-4393A). WL-rapport Q4240.00.

WL | Delft Hydraulics 1997. Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie, verslagen fasen 1 t/m 5. H3211.

WL | Delft Hydraulics 1998. Hydraulische randvoorwaarden voor IJburg, Deelrapport A, dataset met waterstanden en golven. H3274.

Bijlage A. Toetspeilen

Tabel 11

Toetspeilen HR 2006 voor locaties langs het IJsselmeer.

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
153942	566307	F007 Cornwerd	1,7	1/4000
153702	562632	F037 Makkum	1,4	1/4000
154855	560082	F071 Kooihuizen	1,3	1/4000
155033	558099	F100 Gaast	1,3	1/4000
155152	555736	F125 Workum Gele Strand	1,2	1/4000
155619	553612	F151 Workum It Soal	1,1	1/4000
155315	552190	F172 Workum Vuurtoren	1,0	1/4000
155624	551239	F191 Hindeloopen Stoenckherne	1,0	1/4000
155303	550656	F202 Hindeloopen	1,0	1/4000
155632	549455	F214 Hindeloopen Badpaviljoen	1,0	1/4000
155548	547397	F245 Molkwerum	1,0	1/4000
153043	545616	F280 Stavoren Noord	1,0	1/4000
152284	544180	F292 Stavoren Haven	1,0	1/4000
153078	542925	F307 Stavoren Gemaal+I15	1,0	1/4000
154722	541474	F329 Roode Klif	1,0	1/4000
156442	540140	F351 Laaxum	1,0	1/4000
159530	540321	F382 Mirnserklif	1,0	1/4000
161233	538445	F403 Sefonsterdijk	1,0	1/4000
163370	538962	F425 Marderhoek	1,0	1/4000
165681	538039	F449 Hoge Grazen	1,1	1/4000
166266	536744	F463 Huitebuursterpolder	1,1	1/4000
168032	536673	F484 Hondennest	1,2	1/4000
170013	538645	F502 Zandvoorderhoek	1,4	1/4000
171366	539969	F524 Sondeler Warren	1,5	1/4000
172782	539875	F559 Lemsterhoek	1,7	1/4000
173689	539339	F565 Lemsterhoek	1,8	1/4000
174359	539564	L008 Lemsterbaai	1,8	1/4000
174808	539718	L007 Lemsterbaai	1,9	1/4000
175397	539654	L006 Lemsterbaai	2,0	1/4000
175949	539564	L005 Lemsterbaai	2,0	1/4000
176795	538923	L004 Lemsterbaai	2,1	1/4000
176218	538731	L003 Lemsterbaai	2,0	1/4000
175192	538731	L002 Lemsterbaai	1,9	1/4000
174487	538654	L001 Lemsterbaai	1,9	1/4000
172666	537844	N049 Noordermeerdijk	1,7	1/4000
171734	535966	N070 Noordermeerdijk	1,6	1/4000
170413	534315	N092 Noordermeerdijk	1,5	1/4000
168657	531206	N125 Noordermeerdijk	1,3	1/4000
168160	530308	N134 Westermeerdijk	1,3	1/4000
168462	526787	N170 Westermeerdijk	1,4	1/4000
168404	524201	N195 Westermeerdijk	1,5	1/4000

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
168360	521568	N223 Westermeerdijk	1,6	1/4000
168334	520169	N236 Westermeerdijk	1,6	1/4000
169465	518367	N260 Zuidermeerdijk West	1,7	1/4000
170341	517888	N273 Zuidermeerdijk West	1,8	1/4000
171317	516375	N290 Zuidermeerdijk West	1,9	1/4000
172292	514863	N308 Zuidermeerdijk West	2,0	1/4000
172510	514376	N312 Zuidermeerdijk West	2,1	1/4000
173326	513828	N315 Zuidermeerdijk Oost	2,2	1/4000
173707	513706	N323 Zuidermeerdijk Oost	2,2	1/4000
176507	513707	N350 Zuidermeerdijk Oost	2,4	1/4000
178971	513709	N375 Zuidermeerdijk Oost	2,5	1/4000
180188	513499	N382 Ramsdijk	2,6	1/4000
183535	513589	N420 Ramsdijk	2,9	1/4000
184935	513595	N430 Ramsdijk	3,1	1/4000
185135	513596	N442 Ramsdijk	3,1	1/4000
183876	510505	WGS11 Vossewaard	2,8	1/2000
184576	509970	WGS12 Vossewaard	2,9	1/2000
185559	509049	WGS15 Vossewaard	3,0	1/2000
186007	508175	WGS21 Vossewaard	3,1	1/2000
186557	507396	WGS24 Vossewaard	3,2	1/2000
186815	506707	WGS28 Vossewaard	3,2	1/2000
186715	506819	F002 Vossemeerdijk	3,4	1/4000
184811	509220	F035 Vossemeerdijk	3,1	1/4000
183305	510374	F050 Vossemeerdijk	2,9	1/4000
181666	510367	F065 Vossemeerdijk	2,8	1/4000
180621	510607	F078 Vossemeerdijk	2,8	1/4000
179359	510969	F090 Ketelmeerdijk	2,7	1/4000
179165	511017	F095 Ketelmeerdijk	2,6	1/4000
176834	511590	F115 Ketelmeerdijk	2,5	1/4000
174504	512164	F140 Ketelmeerdijk	2,3	1/4000
173291	512462	F155 Ketelmeerdijk	2,2	1/4000
172511	513476	F166 Ketelmeerdijk	2,1	1/4000
171055	513412	F188 IJsselmeerdijk	2,0	1/4000
167386	512392	F220 IJsselmeerdijk	1,8	1/4000
166612	511976	F235 IJsselmeerdijk	1,8	1/4000
165105	510443	F260 IJsselmeerdijk	1,7	1/4000
162451	508019	F291 IJsselmeerdijk	1,7	1/4000
161703	507781	F300 IJsselmeerdijk	1,6	1/4000
161106	507717	F312 IJsselmeerdijk	1,6	1/4000
159309	506927	F326 IJsselmeerdijk	1,6	1/4000
158853	505628	F340 IJsselmeerdijk	1,6	1/4000
158223	505681	H-IJM009 Houtribdijk	1,8	1/10.000
158760	506350	H-IJM019 Houtribdijk	1,8	1/10.000
158901	507349	H-IJM030 Houtribdijk	1,7	1/10.000
159265	507737	H-IJM035 Houtribdijk	1,7	1/10.000
159431	507849	H-IJM038 Houtribdijk	1,7	1/10.000

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
160002	508360	H-IJM049 Houtribdijk	1,7	1/10.000
160797	509581	H-IJM058 Houtribdijk	1,7	1/10.000
160464	510777	H-IJM072 Houtribdijk	1,7	1/10.000
160227	511749	H-IJM079 Houtribdijk	1,6	1/10.000
159836	512297	H-IJM086 Houtribdijk	1,6	1/10.000
158174	515015	H-IJM119 Houtribdijk	1,4	1/10.000
157878	515537	H-IJM124 Houtribdijk	1,4	1/10.000
156791	517204	H-IJM144 Houtribdijk	1,2	1/10.000
155694	518592	H-IJM160 Houtribdijk	1,2	1/10.000
155239	519281	H-IJM169 Houtribdijk	1,1	1/10.000
154044	520627	H-IJM188 Houtribdijk	1,1	1/10.000
152816	521526	H-IJM202 Houtribdijk	1,1	1/10.000
151185	522231	H-IJM218 Houtribdijk	1,1	1/10.000
149349	523121	H-IJM235 Houtribdijk	1,1	1/10.000
150000	525600	07B Enkhuizen Oosterdijk Zuid	1,1	1/10.000
150000	526400	07A Enkhuizen Oosterdijk Midden	1,1	1/10.000
149640	528564	06B Enkhuizen De Ven	1,1	1/10.000
147703	528844	06C Andijk Gelderse Hoek	1,1	1/10.000
147542	528964	06A Andijk WRK	1,1	1/10.000
143924	529971	05C Andijk Noorderdijk	1,1	1/10.000
142336	530102	05B Andijk Proefpolder Oost	1,1	1/10.000
141234	529499	05A Andijk Proefpolder West	1,1	1/10.000
140063	529494	04C Wervershoof Noorderdijk	1,1	1/10.000
139482	529511	04A Onderdijk Nespolderdijk	1,1	1/10.000
138144	530744	03B Medemblik Oosterdijk	1,1	1/10.000
136351	532340	03A Wieringermeerdijk Zuid	1,0	1/4000
137194	539527	02B Zeughoek Zuid	1,0	1/4000
136940	540328	02A Zeughoek Noord	1,0	1/4000
134527	545159	01B Dijkgatbos	1,0	1/4000
133008	548201	01A Wieringermeerdijk noord	1,0	1/4000

Tabel 12

Toetspeilen HR 2006 voor het Markermeer.

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
147406	521401	01A Krabbersgat	1,2	1/10.000
146603	521818	02 Zuiderdijk	1,2	1/10.000
146033	521725	03B Grootslag Noord	1,2	1/10.000
145627	520691	03E Gemaal Drieban	1,1	1/10.000
145479	519910	04B Tersluis Midden	1,0	1/10.000
144763	518329	05B De Weed Midden	0,9	1/10.000
143353	517285	06A Kroonhoeve Noord	0,8	1/10.000
141919	516161	07B Oosterleek Zuid	0,7	1/10.000
140529	515507	08B Wijdenes Midden	0,7	1/10.000
139289	514638	09A Zuideruitweg	0,7	1/10.000
137593	514302	10A De Nek Oost	0,7	1/10.000
136889	515015	11A De Nek Noord	0,7	1/10.000
136665	515693	12 Schellinkhout Strand	0,7	1/10.000
134875	516533	14 Hoorn 80	0,7	1/10.000
134274	516747	15B Hoorn Willemsweg	0,7	1/10.000
131994	516711	16 Hoorn West	0,7	1/10.000
132787	515771	16A Hoorn Grashaven	0,8	1/10.000
131273	516152	18A De Hulk Oost	0,8	1/10.000
130369	515481	19A Westerkogge	0,7	1/10.000
130525	513909	20 Polder Beschoot	0,7	1/10.000
130616	511938	22B Schardam	0,7	1/10.000
131293	509913	24 Etersheimerbraak	0,7	1/10.000
131312	508985	25B Warder Zwembad	0,7	1/10.000
132816	506509	27A Polder Zeevang Noord	0,7	1/10.000
133169	505285	28A Groot Braak	0,7	1/10.000
134107	503420	29B Edam Zuid	0,7	1/10.000
134690	502469	30 Zuidpolder	0,7	1/10.000
134653	501371	31A Volendam Noord	0,7	1/10.000
134269	500458	31C Volendam Haven	0,7	1/10.000
133124	499864	32A Katham Noord	0,7	1/10.000
133133	499087	33 Zeeburg	0,7	1/10.000
133489	498639	34B Hogendijk Midden	0,7	1/10.000
133286	497506	35A Katwoude Oost	0,7	1/10.000
132095	497620	36B Nieuwendam	0,7	1/10.000
132748	497387	37B Hemmeland Noord	0,7	1/10.000
132309	496150	38A Monnickendam Sportpark	0,7	1/10.000
132468	495040	39A Zuiderwoudergouw Noord	0,7	1/10.000
132999	494863	40B Binnenbraak Oost	0,7	1/10.000
134578	496062	42B Het Kruis Noord	0,5	1/1250
135040	496927	43C Marken Haven	0,5	1/1250
135116	497460	44B Marken Noord	0,5	1/1250
136548	497673	45B Marken Noordoost	0,5	1/1250
138378	497231	46 Marken punt Oost	0,5	1/1250
137140	496146	47B Moeniswerf Zuid	0,5	1/1250
134171	493293	51 Uitdam Camping	0,7	1/10.000

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
134052	492531	52A Uitdam Noord	0,7	1/10.000
133659	491857	53A Uitdam Zuid	0,7	1/10.000
132564	491490	54A Uitdammer Die West	0,7	1/10.000
131805	490623	55 Barnegat Zuid	0,7	1/10.000
130917	489467	58A Kinselmeer Noord	0,7	1/10.000
130158	488423	59A Kinselmeer Camping	0,7	1/10.000
129980	487180	59D IJdoorn Zuid	0,7	1/10.000
155494	473734	dp 10.7: Oostdijk	1,5	1/1250
154527	474609	dp 12.1: Spakenburg	1,4	1/1250
152583	475790	dp 14.8: Oude Pol	1,3	1/1250
160432	474712	dp 4.8: Nijkerkersluis	1,6	1/1250
160432	474712	dp 4.8: Nijkerkersluis	1,9	1/4000
158491	473973	dp 7.3: Wielse Sluis	1,6	1/1250
156741	473224	dp 9.1: Nekkeveld	1,5	1/1250
151249	476354	EM Eemmond	1,2	1/1250
140082	479705	gav3 Naarden-Vesting	0,8	1/1250
140843	479767	gav4 Oostdijk fabriek	0,8	1/1250
136972	482856	gav5 Muiderberg	0,6	1/1250
135307	483768	gav6 Noordpolder	0,6	1/1250
133315	484217	gav7 Muiden Haven	0,6	1/1250
131374	484145	gav8 Pen-eiland	0,6	1/1250
149539	476711	GG Gooijergracht	1,1	1/1250
145503	481006	Hh 135	0,8	1/1250
136500	487903	hm 0,8: IJmeerdijk	0,6	1/4000
143331	482277	hm 11,5: Gooimeerdijk	0,8	1/4000
149925	497299	hm 11,7: Oostvaardersdijk	0,7	1/4000
147383	479665	Hm 121	0,9	1/1250
145183	482178	hm 13,4: Gooimeerdijk	0,9	1/4000
146976	495234	hm 15,0: Oostvaardersdijk	0,6	1/4000
148087	480847	hm 16,2: Gooimeerdijk O	1,1	1/4000
147739	481045	hm 16,2: Gooimeerdijk W	1,0	1/4000
144458	493607	hm 18,0: Oostvaardersdijk	0,6	1/4000
143940	493304	hm 18,5: Oostvaardersdijk	0,6	1/4000
143252	492896	hm 19,0: Oostvaardersdijk	0,6	1/4000
152115	477583	hm 21,3: Eemmeerdijk O	1,4	1/4000
151827	477861	hm 21,3: Eemmeerdijk W	1,4	1/4000
138759	490169	hm 24,9: Oostvaardersdijk	0,6	1/4000
158262	474157	hm 29,3: Nijkerkerdijk	1,8	1/4000
137225	485483	hm 3,1: IJmeerdijk	0,7	1/4000
156429	502358	hm 3,4: Oostvaardersdijk	1,2	1/4000
137066	483471	hm 5,0: IJmeerdijk	0,7	1/4000
154352	500392	hm 6,0: Oostvaardersdijk	1,0	1/4000
140391	482684	hm 8,1: Gooimeerdijk	0,8	1/4000
152222	498901	hm 8,5: Oostvaardersdijk	0,8	1/4000
154275	475501	hm24,4: Eemmeerdijk O	1,6	1/4000

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
153843	475918	hm24,4: Eemmeerdijk W	1,6	1/4000
155404	474187	hm26,3: Eemmeerdijk	1,7	1/4000
147406	521401	Houtribdijk 235	1,2	1/10.000
148655	522213	Houtribdijk 240	1,4	1/10.000
150509	521592	Houtribdijk 250	1,4	1/10.000
152339	520787	Houtribdijk 260	1,5	1/10.000
153799	519451	Houtribdijk 270	1,6	1/10.000
155160	517985	Houtribdijk 280	1,6	1/10.000
156279	516334	Houtribdijk 290	1,6	1/10.000
157345	514642	Houtribdijk 300	1,6	1/10.000
158404	512946	Houtribdijk 310	1,6	1/10.000
159400	511217	Houtribdijk 320	1,6	1/10.000
159954	509296	Houtribdijk 330	1,7	1/10.000
158464	508239	Houtribdijk 340	1,5	1/10.000
157582	506458	Houtribdijk 350	1,4	1/10.000
157104	504528	Houtribdijk 360	1,4	1/10.000
142238	480223	Ov 154	0,8	1/1250
148889	478515	SB Stichtse Brug	1,0	1/1250

.....
Tabel 13

Toetspeilen HR 2006 voor IJburg
Normfrequentie 1/4000.

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
130293	486291	BUE1	0,7	1/4000
130694	486640	BUE2	0,7	1/4000
130327	486866	BUE3	0,7	1/4000
129585	486627	BUE4	0,7	1/4000
129336	486584	BUE5	0,7	1/4000
129055	486567	BUE6	0,7	1/4000
128899	486337	BUE7	0,7	1/4000
129552	486200	BUE8	0,7	1/4000
129224	485583	CEE1	0,8	1/4000
129380	484920	CEE2	0,8	1/4000
129829	484612	CEE3	0,8	1/4000
129921	484785	CEE4	0,8	1/4000
129647	485349	CEE5	0,8	1/4000
127057	487390	DDD1	0,8	1/4000
127567	487047	DDD2	0,8	1/4000
128120	487346	DDD3	0,7	1/4000
132105	483714	GAV9	0,8	1/4000
128834	485599	HAV1	0,8	1/4000
128547	485846	HAV2	0,8	1/4000
128228	486106	HAV3	0,8	1/4000
127979	486111	HAV4	0,8	1/4000
127683	485850	HAV5	0,8	1/4000
127768	485387	HAV6	0,8	1/4000
128465	484867	HAV7	0,8	1/4000
129259	484150	HAV8	0,8	1/4000
129643	484396	HAV9	0,8	1/4000
129742	485144	MID1	0,8	1/4000
130821	485438	MID2	0,7	1/4000
131430	486035	MID3	0,7	1/4000
131269	486241	MID4	0,7	1/4000
130804	486225	MID5	0,7	1/4000
130557	486215	MID6	0,7	1/4000
127900	486506	STE1	0,7	1/4000
127357	486610	STE2	0,8	1/4000
127082	486475	STE3	0,8	1/4000
126863	485973	STE4	0,8	1/4000
127028	485829	STE5	0,8	1/4000
130174	484701	STR1	0,8	1/4000
130360	484875	STR2	0,7	1/4000
130674	485004	STR3	0,7	1/4000
131067	485168	STR4	0,7	1/4000
131465	485421	STR5	0,7	1/4000
126161	488099	ZBE1	0,8	1/4000
126692	487689	ZBE2	0,8	1/4000
126929	487257	ZBE4	0,8	1/4000
126925	486481	ZBE6	0,8	1/4000
126247	486684	ZBE7	0,8	1/4000

.....

Tabel 14

Toetspeilen HR 2006 IJburg
Normfrequentie 1/1250.

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
129829	484612	CEE3	0,7	1/1250
127768	485387	HAV6	0,7	1/1250
129259	484150	HAV8	0,7	1/1250
129643	484396	HAV9	0,7	1/1250
126863	485973	STE4	0,7	1/1250
127028	485829	STE5	0,7	1/1250
130174	484701	STR1	0,6	1/1250
130360	484875	STR2	0,6	1/1250
126929	487257	ZBE4	0,7	1/1250
126925	486481	ZBE6	0,7	1/1250
126247	486684	ZBE7	0,7	1/1250

.....

Tabel 15

Toetspeilen HR 2006 nabij IJburg
Normfrequentie 1/10.000

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
127057	487390	DDD1	0,8	1/10.000
127567	487047	DDD2	0,8	1/10.000
128120	487346	DDD3	0,8	1/10.000
126161	488099	ZBE1	0,8	1/10.000

.....

Tabel 16

Toetspeilen HR 2006 Eem
Normfrequentie 1/1250

X	Y	locatie	Toetspeil HR 2006	(Norm)frequentie
150963	475519	dp15.8 Raboes	1,2	1/1250
150649	474700	dp16.9 Bekaaide Maat	1,2	1/1250
150790	473927	dp17.6 Eemdijk	1,2	1/1250
149931	473589	dp18.5 Gemaal Eemnes	1,0	1/1250
149790	472618	dp19.4 Zomerdijk	1,0	1/1250
149914	471658	dp20.6 Bruggemaat	1,0	1/1250
149988	470789	dp21.4 Eembrugge	1,1	1/1250
149503	470081	dp22.5 Snelweg	1,1	1/1250
149610	469206	dp23.3 Eemdal	1,1	1/1250
149915	468367	dp24.4 Zeldert	1,1	1/1250
149755	467397	dp25.4 Grote Melm	1,2	1/1250
150531	466846	dp26.0 Krachtwijk	1,2	1/1250
150795	465975	dp27.4 Kleine Melm	1,3	1/1250
151663	465884	dp28.1 Malesluis	1,3	1/1250
152389	465280	dp29.4 Coelhorst	1,4	1/1250
153266	464818	dp30.2 Bunshoterstraat	1,5	1/1250
154073	464233	dp31.5 Industrieweg	1,7	1/1250

Bijlage B. Overzicht decimeringshoogten

De hydraulische randvoorwaarden op de Meren worden bepaald door combinaties van het meerpeil (M), de windrichting (R) en de windsnelheid (U). Deze drie belastingen (ook wel stochasten genoemd) resulteren in drie typen belastingen die al dan niet gecombineerd de primaire waterkeringen bedreigen:

- a) Langdurige belasting door hoge meerpeilen
- b) Locale kortdurende belasting door hoge waterstanden a.g.v. opwaaiing en
- c) Locale kortdurende belasting door windgolven.

Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke spreiding van de typen belastingen kan gekeken worden naar de zogeheten decimeringshoogte. De decimeringshoogte is gedefinieerd als het absolute verschil in hoogte tussen het toetspeil en een waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die 10 keer hoger of lager is dan die van het toetspeil (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2001).

De bovenstaande definitie kan toegepast worden voor belasting door meerpeilen alleen, waterstanden (meerpeil + opwaaiing) en voor gecombineerde waterstand plus golven (meerpeil + opwaaiing + golven: het hydraulische-belastingniveau). Voor alle HR 2006 locaties op de Meren is de decimeringshoogte voor het meerpeil (Dm), waterstand (Dw) en voor waterstand plus golven (Dg) bepaald volgens de onderstaande definities:

- Decimeringshoogte voor meerpeil (Dm): het gemiddelde van verschil in hoogte tussen een 1/1000^{ste} en 1/100^{ste} en tussen 1/10000^{ste} en 1/1000^{ste} meerpeil.
- Decimeringshoogte voor waterstand (Dw): het gemiddelde van verschil in hoogte tussen een 1/1000^{ste} en 1/100^{ste} en tussen 1/10000^{ste} en 1/1000^{ste} waterstand.
- Decimeringshoogte voor het hydraulische-belastingniveau (Dg): het gemiddelde van het absolute verschil in hoogte tussen een 1/1000^{ste} en 1/100^{ste} en 1/10000^{ste} en 1/1000^{ste} hydraulische-belastingniveau.

In formule:

$$D_x = \frac{(h(t_{1000}) - h(t_{100})) + (h(t_{10000}) - h(t_{1000}))}{2}$$

Waarin:

- D_x = decimeringshoogte voor meerpeil (Dm), waterstand (Dw) of Waterstand + Golven (Dg) [m]
h(t_n) = meerpeil, waterstand of hydraulische-belastingniveau bij gegeven terugkeertijd van n jaren [m].

De decimeringshoogte voor het meerpeil (D_m) is direct afhankelijk van de meerpeilstatistiek en uniform per meer. De decimeringshoogte is 0.22 m het Markermeer en Gooi- Eemmeer en 0.3 m voor het IJsselmeer, Ketelmeer en Vossemeer.

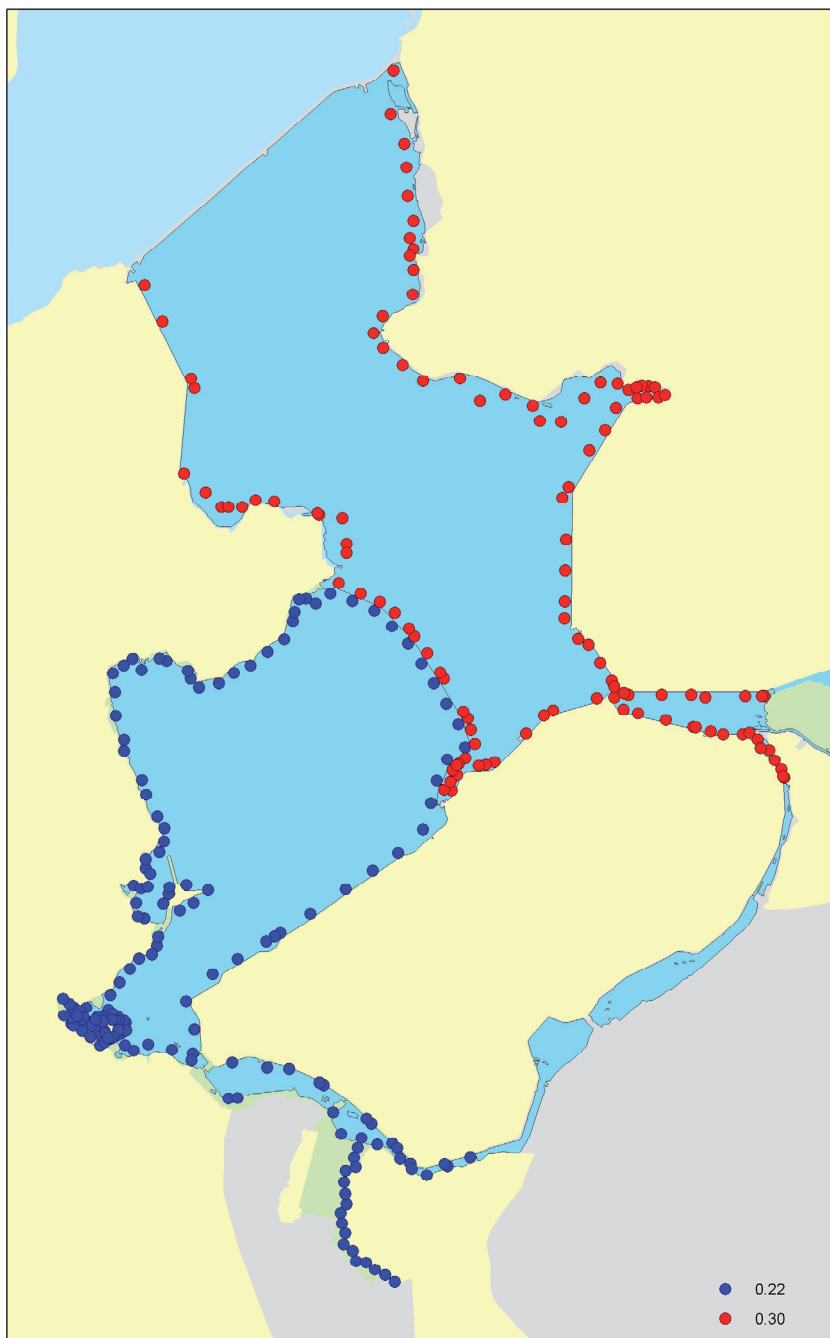
De decimeringshoogte voor waterstand (D_w) is afhankelijk van het meerpeil en de opwaaiing. De D_w varieert dan ook per locatie. Locaties in de uithoeken van de Meren ondervinden de meeste opwaaiing en hebben daarom een relatief grote D_w . Figuur 34 laat zien dat de decimeringshoogte voor waterstanden op het IJsselmeer en Markermeer tussen de 0.2 en 0.4 meter ligt. De decimeringshoogte loopt op tot 0.6 meter op het Eemmeer en 0.8 meter op het Ketelmeer. Op de Eem is de D_w zeer beperkt door de inundatie van de buitendijkse polders: bij een hogere terugkeertijd is de mate van inundatie groter en stijgen de waterstanden dus slechts beperkt.

De decimeringshoogte voor het hydraulische-belastingniveau (D_g) is afhankelijk van het meerpeil, de opwaaiing, de (wind)golven en de geometrie van de waterkering⁴. Net als de D_w varieert de D_g dan ook per locatie. Locaties in de uithoeken van de Meren en locaties die geëxposeerd liggen ten opzichte voor de golfaanval hebben de grootste D_g waarden (Figuur 36).

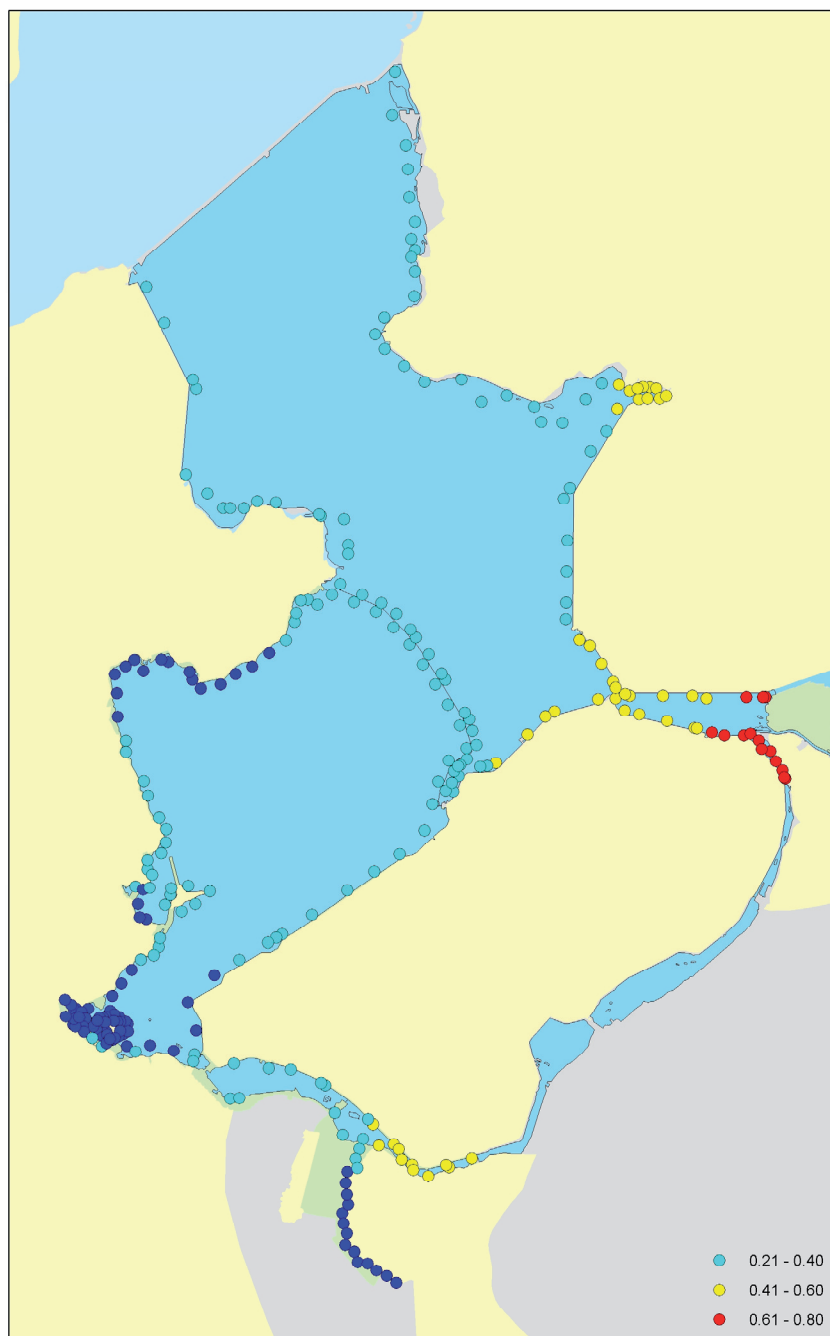
.....

⁴ Voor het bepalen van de D_g is uitgegaan van theoretische dijkprofielen met een 1 op 3 talud helling, een grasbekleding en een oriëntatie overeenkomstig met de meest gepaste richting uit 16 richtingssectoren van 22.5 graad. Gekozen sectoren zijn 0, 22,5 45, 67,5,..... enz in graden)

.....
Figuur 34
Decimeringshoogte Meerpeil (Dm)
uitgedrukt in meters.



.....
Figuur 35
Decimeringshoogte waterstand
(Dw) uitgedrukt in meters.



Figuur 36

Decimeringshoogte Hydraulische-
belastingniveau (Dg) uitgedrukt in
meters.

