

## **Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities**

T.b.v. het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken





# **Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities**

T.b.v. het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken

Joost den Bieman  
Annette Kieftenburg

1209832-004



**Titel**

Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities



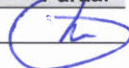
<b>Opdrachtgever</b> Rijkswaterstaat - WVL	<b>Project</b> 1209832-004	<b>Kenmerk</b> 1209832-004-HYE-0001	<b>Pagina's</b> 42
---	-------------------------------	--	-----------------------

**Samenvatting**

In het onderhavige rapport wordt een werkwijze voor het afleiden van ontwerpvoorwaarden (waterstanden en golfcondities), ten behoeve van het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken beschreven. Hierbij wordt er bij ontwerpen, vanwege de lange planperiode van versterkingen, ook rekening gehouden met het effect van klimaatverandering. Hierin worden enerzijds de ervaringen opgedaan bij PBZ, anderzijds waar mogelijk de nieuwe ontwikkelingen binnen het project WTI2017 meegenomen. De belangrijkste van deze ontwikkelingen binnen WTI is de overstap van een overschrijdingskansbenadering naar een overstromingskansbenadering en de andere normen die hiermee gepaard gaan. De ervaringen vanuit PBZ omvatten met name ervaringen met betrekking tot het proces en aanwijzingen voor verslaglegging om ontwerpen reproduceerbaar en controleerbaar te maken. Ook zijn er praktische ervaringen uit de ontwerppraktijk van steenbekledingen in Zeeland. Naast deze nieuwe kennis wordt er wel uitgegaan van bestaande software en instrumenten.

**Referenties**

Rijkswaterstaat WVL zaaknr. 31094141 / bestelnr. 45002226348 (opdracht van 2 juni 2014).  
 Contactpersoon Rijkswaterstaat WVL: dhr. K. Saathof  
 Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review <sup>1</sup>	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	okt 2015	Joost den Bieman Annette Kieftenburg		Alfons Smale		Marcel van Gent	

**Status**

definitief

<sup>1</sup> Bijlage C is niet meegenomen in dit reviewproces, het is in feite een separaat document met een eigen statusblad en reviewproces.



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Doel	1
1.2	Afbakening	1
1.3	Relatie met andere projecten	2
1.4	Aanpak	2
1.5	Leeswijzer	2
<b>2</b>	<b>Algemene aanwijzingen ten aanzien van het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Achtergrond faalmechanismes</b>	<b>5</b>
3.1	Hoogte (overloop en overslag)	6
3.2	Stabiliteit	6
3.2.1	Bekledingen	6
3.2.2	Piping en heave	7
3.2.3	Macro-instabiliteit binnenwaarts	7
3.2.4	Macro-instabiliteit buitenwaarts	7
3.2.5	Micro-instabiliteit	8
3.2.6	Instabiliteit voorland	8
3.3	Niet-waterkerende objecten	8
3.4	Stormduur en belastingduur	8
<b>4</b>	<b>Generieke aanpak voor afleiden ontwerprandvoorwaarden</b>	<b>11</b>
4.1	Aannames en uitgangspunten	11
4.1.1	Instrumenten	11
4.1.2	Normen	11
4.1.3	Zichtjaar	11
4.1.4	Toekomstige maatregelen	12
4.1.5	Toekomstige beleidswijzigingen	13
4.1.6	Klimaatscenario	13
4.1.7	Waterkeringen achter havendammen	13
4.1.8	Bodemverandering	14
4.1.9	Toeslagen	14
4.2	Recept afleiding ontwerprandvoorwaarden	16
4.3	Vertaling van trajectnorm naar faalkanseis per doorsnede	18
4.3.1	Uitgewerkt voorbeeld	19
4.4	Controle ontwerprandvoorwaarden	20
4.4.1	Golfsteilheid	20
4.4.2	Verhouding golfhoogte/waterdiepte	20
4.4.3	Ruimtelijke consistentie	21
<b>5</b>	<b>Handleiding aanpassen modelinvoer</b>	<b>23</b>
5.1	Hydra-K	23
5.1.1	Terugkeertijd	23
5.1.2	Zeespiegelstijging	23
5.1.3	Ontwerpprofiel	23
5.1.4	Faalmechanismes	24

5.1.5	Regio's	24
5.2	Hydra-Zoet	24
5.2.1	Deltamodel modus	24
5.2.2	Toevoegen randvoorwaarden database	24
5.2.3	Terugkeertijd	25
5.2.4	Meerpeilstijging	25
5.2.5	Zeespiegelstijging	26
5.2.6	Ontwerpprofiel	27
5.2.7	Faalmechanismes	27
<b>6</b>	<b>Stappenplan Overloop en Golfoverslag</b>	<b>29</b>
6.1	Zeedijken & Dammen	29
6.2	Meerdijken	30
<b>7</b>	<b>Stappenplan Bekledingen</b>	<b>33</b>
7.1	Steenzettingen van het type zuilen	33
7.2	Ontwerppeil voor golfbelasting bekledingen	34
7.3	Golfbelasting voor waterstanden nabij ontwerppeil	34
7.4	Golfbelasting bekledingen in de Oosterschelde	34
7.5	Zeedijken & Dammen	35
7.6	Meerdijken	36
<b>8</b>	<b>Stappenplan overige faalmechanismes</b>	<b>39</b>
8.1	Zeedijken & Dammen	39
8.2	Meerdijken	40
	<b>Bijlage(n)</b>	
	<b>Referenties</b>	<b>41</b>
<b>A</b>	<b>Bijlage A: Lengte-effect factoren Golfoverslag</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Bijlage B: Hydra-K regio's</b>	<b>B-1</b>
B.1	Westerschelde	B-1
B.2	Oosterschelde	B-2
B.3	Verbindingen	B-3
B.4	Kust Zuid	B-4
B.5	Kust Midden	B-5
B.6	Kust Noord	B-6
B.7	Waddenzee West	B-7
B.8	Waddenzee Oost	B-8
<b>C</b>	<b>Bijlage C: Achtergronden</b>	<b>C-1</b>



# 1 Inleiding

In het kader van de renovatie van steenzettingen in Zeeland door het Projectbureau Zeeweringen (PBZ) zijn in de loop van twee decennia de hydraulische randvoorwaarden afgeleid voor alle te renoveren steenzettingen in Zeeland, gebruik makend van vigerende instrumenten en handreikingen. Daarbij is veel ervaring opgedaan met het bepalen van de maatgevende waterstanden en golfcondities voor het ontwerpen van dijkbekledingen. Nu het einde van het project in zicht is, is besloten om die ervaringen vast te leggen, zodat die ook gebruikt kunnen worden in toekomstige projecten elders in Nederland.

Inmiddels is echter ook een andere ontwikkeling in een vergevorderd stadium, namelijk de overstap van de overschrijdingskansbenadering naar de overstromingskansbenadering voor het toetsen van dijken binnen het project Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (WTI2017). De minister van Infrastructuur en Milieu is voornemens om vanaf 2017 de periodieke wettelijke toetsing van de dijken met deze nieuwe methode te laten plaatsvinden. Bij het maken van nieuwe ontwerpen van dijken moet hierop geanticipeerd worden. Daarom is voor het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) een voorlopig OntwerpInstrumentarium 2014 (OI2014) opgesteld, waarin aangegeven is wat de consequenties zijn van deze overstap.

In het voorliggende rapport is enerzijds gebruik gemaakt van de ervaringen uit Zeeland (zie ook Svasek Hydraulics & Royal Haskoning, 2011), maar is anderzijds de overstap naar de overstromingskansbenadering verwerkt. Dat laatste is met name uitgewerkt in het hoofdrapport, als praktische gids voor het bepalen van hydraulische ontwerprandvoorwaarden in concrete gevallen. Veel van de achtergronden zijn verwerkt in de bijlagen.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is Rijkswaterstaat WVL de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige onderzoek. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

## 1.1 Doel

Het doel van het onderhavige rapport is het aanreiken van een consistente werkwijze voor het afleiden van ontwerprandvoorwaarden (waterstanden en golfcondities), ten behoeve van het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken op veiligheid tegen overstromen. Hierbij is de ervaring opgedaan bij het Projectbureau Zeeweringen waar mogelijk geïntegreerd in de nieuwe werkwijze en wordt aangesloten bij de keuzes die binnen OI2014 zijn gemaakt.

## 1.2 Afbakening

Dit document beschrijft een werkwijze om te komen tot eenduidig vastgelegde en daarmee reproduceerbare hydraulische ontwerprandvoorwaarden van dammen, zee- en meerdijken. Rivierdijken, duinen en kunstwerken worden in dit rapport niet besproken. Daarnaast worden bijzondere belastingen, het effect van niet-waterkerende objecten (NWO's), scheepsgolven en ijsbelasting buiten beschouwing gelaten.

Het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden heeft slechts betrekking op de hydraulische belastingenkant van de te ontwerpen waterkering, niet op de sterktekant.

### 1.3 Relatie met andere projecten

Het ontwerp van primaire waterkeringen heeft een sterke relatie met de toetsing ervan, er dient immers zodanig ontworpen te worden dat de waterkering gedurende de planperiode niet wordt afgekeurd bij een toetsing. In concreto betekent dit dat er grote raakvlakken zijn met het Wettelijk Toets Instrumentarium 2017 (WTI2017), waarin de toetsvoorschriften voor de eerstvolgende toetsronde worden ontwikkeld. WTI2017 is echter nog niet afgerond, dus de toetsvoorschriften zijn nog niet definitief. Om de kans op het afkeuren van een nieuw ontworpen waterkering te verkleinen wordt er binnen dit project zoveel mogelijk aangesloten op de ontwikkelingen en beslissingen binnen WTI2017.

Voor een groot aantal afgekeurde waterkeringen worden in het kader van het HoogWater-BeschermingsProgramma (HWBP) versterkingen ontworpen en gerealiseerd. Om het ontwerp van deze versterkingen zo goed mogelijk te laten aansluiten bij WTI2017 is het project Ontwerp Instrumentarium 2014 (OI2014) in het leven geroepen. Dit project beschrijft, vergelijkbaar met dit rapport, een werkwijze om met bestaande instrumenten ontwerprandvoorwaarden af te leiden (Deltares, 2014). Binnen OI2014 worden echter enkel die HWBP projecten behandeld waarvan de verkenning op zeer korte termijn van start gaat. De huidige werkwijze is dat er elk jaar een update van het rapport plaatsvindt waarin de HWBP projecten van dat jaar worden behandeld (Deltares, 2015).

### 1.4 Aanpak

De ontwerprandvoorwaarden worden afgeleid met bestaande toetssoftware, daar waar nodig rekening houdend met relevante toekomstige ontwikkelingen (beleids- of klimaatverandering). Naderhand worden de gevonden randvoorwaarden gecorrigeerd met toeslagen en gecontroleerd op fysisch realisme.

### 1.5 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden aanwijzingen en tips gegeven voor het afleiden en rapporteren van hydraulische ontwerprandvoorwaarden, ingegeven door de praktijk van PBZ. Er wordt een kort overzicht gegeven van de relevante faalmechanismes voor dammen en dijken (Hoofdstuk 3). Vervolgens wordt de algemene aanpak voor het afleiden van ontwerprandvoorwaarden gepresenteerd (Hoofdstuk 4), gevolgd door specifieke instructies voor het gebruik van toetssoftware (Hoofdstuk 5). Uiteindelijk volgen de specifieke stappenplannen voor het afleiden van de ontwerprandvoorwaarden voor overloop en golfoverslag (Hoofdstuk 6), bekledingen (Hoofdstuk 7) en overige faalmechanismes (Hoofdstuk 8). In Bijlage C is een rapport opgenomen (Kieftenburg, 2015) waarin meer aandacht geschonken wordt aan de ervaringen van PBZ en de relatie met de bestaande leidraden van de ENW/TAW. Deel 1 van Bijlage C bevat achtergronden, waaronder: een algemene uitleg over belastingen voor de verschillende watersystemen en uitleg over hoe deze belastingen worden toegepast in de faalmechanismes, welke verschillende toeslagen er zijn en hoe deze doorwerken in de faalmechanismes. In deel 2 van Bijlage C wordt een recept gegeven voor de overwegingen bij een ontwerp, handvatten voor de uitwerking, tips voor het verkrijgen van data en verslaglegging.

## 2 Algemene aanwijzingen ten aanzien van het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden

Het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden dient transparant en reproduceerbaar te zijn. In de praktijk van PBZ is gebleken hoe belangrijk dit is, met name in het geval van een herziening van de ontwerprandvoorwaarden. Hiertoe is er in deel 2 van Bijlage C is een stappenplan opgenomen dat is voortgevloeid uit de praktijk van PBZ. Dit stappenplan gaat verder dan strikt het afleiden van ontwerprandvoorwaarden (dat is slechts één stap in het schema); het gaat ook in op zaken die bij het ontwerpen in bredere zin belangrijk zijn. Onderstaand zijn deze overige stappen kort toegelicht. Met name die stappen die een sterke relatie hebben met het afleiden van ontwerprandvoorwaarden zijn iets uitgebreider toegelicht. De overige stappen worden uitvoerig beschreven in Bijlage C, deel 2.

### 1 Beschrijving watersysteem

Als onderdeel van de voorbereidingen die ten grondslag liggen aan het ontwerp wordt een beschrijving van het watersysteem (met betrekking tot de elementen relevant voor de hydraulische ontwerprandvoorwaarden) gemaakt en opgenomen in de verslaglegging, zie ook Bijlage C, deel 2, Hoofdstuk 9.4.

### 2 Functionele eisen waterkering

De primaire functie van een waterkering is het keren van water. In sommige gevallen heeft een waterkering daarnaast nog andere functies, die leiden tot additionele eisen en/of een aangepast ontwerpprofiel. Het hoofddocument gaat uit van het afleiden van ontwerprandvoorwaarden voor het keren van water voor het ontwerpprofiel. Voor overige functies zie Bijlage C, deel 2, Hoofdstuk 9.5.

### 3 Locatie waterkering en ontwerpgebied

De exacte ligging van de waterkering en het ontwerpgebied (in Rijksdriehoekscoördinaten) is uiteraard van groot belang. Pas dan kan er gekeken worden naar de uitvoerlocaties (van de toetssoftware) binnen het ontwerpgebied waarop ontwerprandvoorwaarden kunnen worden afgeleid. Hierbij dient men ook na te gaan of deze uitvoerlocaties het ontwerpgebied voldoende dekken. In de rest van dit rapport wordt aangenomen dat de dekking van de uitvoerlocaties voldoende is (zie ook Bijlage C, deel 2, Hoofdstuk 9.6.).

### 4 Scenariobeschrijving

Naast een belasting van de waterkering onder normatieve omstandigheden zijn er nog andere scenario's te bedenken, zie ook Bijlage C, deel 2, Hoofdstuk 9.7. In het hoofddocument gaat het om de relevant faalmechanismen onder normatieve omstandigheden, zie Hoofdstuk 3. Andere scenario's kunnen leiden tot aanpassingen in zichtjaar en de daarvan afhankelijke grootheden.

## 5 Normering

Met de locatie van de waterkering wordt duidelijk binnen welke (dijk)trajecten de kering valt en dus aan welke overstromingskansnorm voldaan moet worden (zie ook Paragraaf 4.3 voor de vertaling van trajectnorm naar doorsnede). Het is mogelijk dat de waterkering meerdere trajecten met verschillende normen beslaat. Let in dat geval op dat per bekeken uitvoerlocatie de juiste norm gehanteerd wordt, zie [www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl](http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl) voor een lijst met werkgetallen van de normspecificatie per traject.

## 6 Afleiden hydraulische ontwerprandvoorwaarden

In hoofdstuk 3 t/m 8 wordt het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden nauwgezet beschreven. Hierbij is gebruik gemaakt van de meeste recente (vigerende) informatie op het moment van schrijven (OI2014). Het is echter de verantwoordelijkheid van de ontwerper om na te gaan of er relevante updates hebben plaatsgevonden die weerslag hebben op het project in kwestie.

Een andere belangrijke stap in het afleiden van ontwerprandvoorwaarden is het controleren van de uitkomsten op fysisch realisme, dit is verder uitgewerkt in Paragraaf 4.4. Uit de praktijk blijkt de toegevoegde waarde van deze controlestap.

Daarnaast kan een vergelijking met andere, nabij gelegen projecten ook nuttig zijn. Hierbij is het wel van belang om ook de aannames en uitgangspunten van de projecten te vergelijken; verschillen daarin resulteren in veel gevallen namelijk ook in verschillen in ontwerprandvoorwaarden.

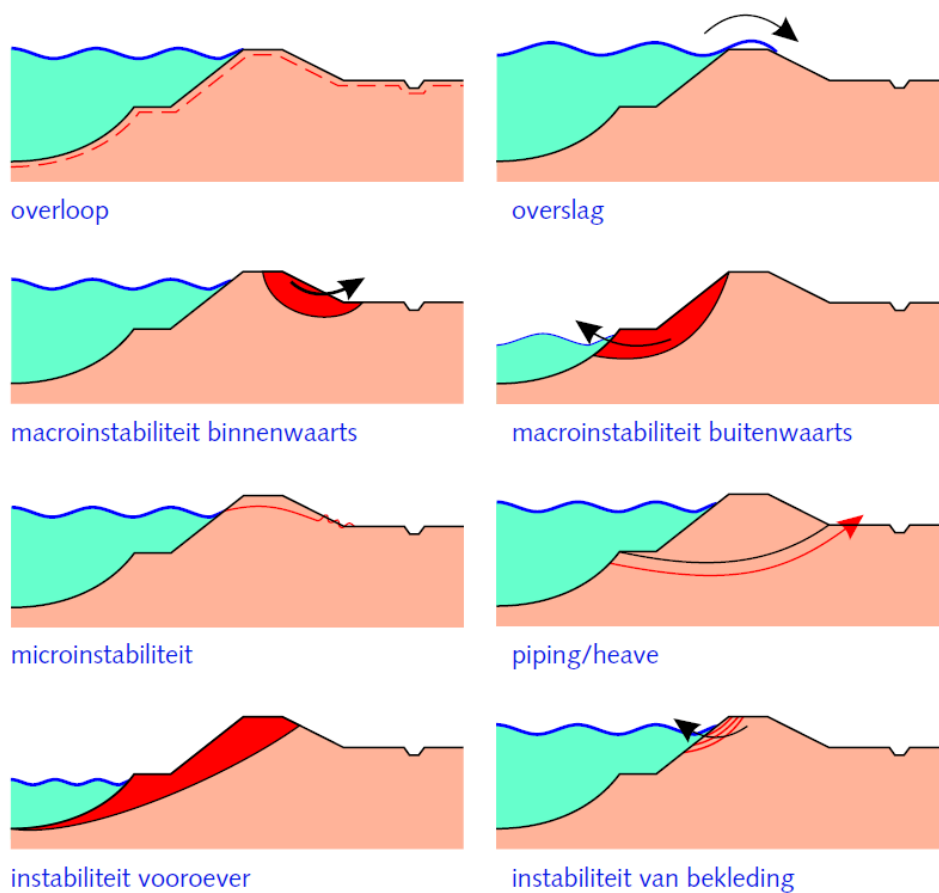
## 7 Verslaglegging

Voor reproduceerbaarheid van ontwerprandvoorwaarden is een secure verslaglegging noodzakelijk. Hierbij dient in het bijzonder aandacht te worden besteed aan de gebruikte softwarepakketten (inclusief versie nummers), databases fysica (met volledige naam en versienummer), de gehanteerde aannames en uitgangspunten evenals de gebruikte dijkprofielen, uitvoerlocaties en bodemligging. Daarnaast is de kwaliteitsborging een belangrijk aspect; denk hierbij bijvoorbeeld aan het steekproefsgewijs controleren van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden op ruimtelijke consistentie en het kritisch bekijken van verdachte resultaten.

Voor inspiratie voor dergelijke verslaglegging kan geput worden uit bestaande documenten, bijvoorbeeld de ontwerppraktijk voor steenbekledingen in Zeeland door PBZ.

### 3 Achtergrond faalmechanismes

In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van de verschillende faalmechanismes (manieren waarop een waterkering kan falen) die relevant zijn voor dammen en dijken. Voor een uitgebreider overzicht, zie Bijlage C Hoofdstuk 7. De werking van de faalmechanismes is schematisch weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 Schematische afbeelding van de faalmechanismes van dijken en dammen, uit Min. V&W en ENW (2007).

Afhankelijk van het faalmechanisme is een bepaalde combinatie van belastingparameters het meest belastend. Een overzicht hiervan is gegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Overzicht van faalmechanismes en dominante belastingparameters (VTV 2006).

Beoordelingsspoor	Faalmechanisme	Dominante belastingparameters
Hoogte	Overloop	h (waterstand)
	Overslag	h (waterstand) H <sub>m0</sub> (golfhoogte) T <sub>m-1,0</sub> (golfperiode)
Stabiliteit	Instabiliteit bekledingen	H <sub>m0</sub> (golfhoogte) T <sub>pm</sub> (golfperiode) belastingduur waterstand
	Piping en heave	h (waterstand) belastingduur
	Macro-instabiliteit binnenwaarts	h (waterstand) belastingduur
	Macro-instabiliteit buitenwaarts	h (waterstand) belastingduur
	Micro-instabiliteit	h (waterstand)
	Instabiliteit voorland	H <sub>m0</sub> (golfhoogte) T <sub>p</sub> (golfperiode)

### 3.1 Hoogte (overloop en overslag)

De minimaal benodigde hoogte van de waterkering wordt bepaald door de faalmechanismes overloop en overslag.

Het faalmechanisme overloop doet zich voor wanneer de normatieve waterstand hoger is dan de kruinhoogte. Het water kan dan vrijelijk over de waterkering stromen. Bij overloop is de waterstand volledig dominant. In Nederland is echter het mechanisme golfoverslag meestal maatgevend voor de hoogte van dijken en dammen vanwege het feit dat er onder maatgevende condities nagenoeg altijd sprake is van een bijbehorende golfbelasting op dijken.

Bij (golf)overslag zorgt een belastingcombinatie van waterstand en golven ervoor dat er golven over de kruin slaan. Dit wordt uitgedrukt als een gemiddeld debiet per tijdseenheid en kruinlengte. Bij overslag spelen zowel waterstand, golfhoogte, -periode en -richting een rol. Hierbij leiden hogere waterstanden, grotere golfhoogtes en langere golfperiodes tot een grotere belasting.

### 3.2 Stabiliteit

De onderstaande faalmechanismes zijn van belang voor de stabiliteit van (delen van) de waterkering.

#### 3.2.1 Bekledingen

De dijkbekleding beschermt het dijklichaam tegen erosie, zowel aan de binnen als buitenzijde van de waterkering. Wanneer deze bekleding faalt, kan de golfaanval direct de kern van de dijk aantasten. Het bezwijken van bekleding is het resultaat van golfaanval en/of langsstroming (ontwerprandvoorwaarden voor stroming vallen buiten de scope van dit rapport). In het huidige rapport wordt de aandacht gericht op golven. De waterstand bepaalt op welke hoogte op het talud de golfbelasting plaatsvindt en in welke mate de golven breken.

### 3.2.2 Piping en heave

Piping is het ontstaan van interne erosie van materiaal uit een watervoerende zandlaag onder de dijk die aan de bovenzijde is begrensd door een cohesieve laag, ten gevolge van een sterke kwelstroom (zie Figuur 3.2). Dit kan leiden tot het verzakken en uiteindelijk doorbreken van de waterkering. Piping vindt plaats bij (langdurig aanhoudende) hoge waterstanden (de waterstand is dus dominant).



Figuur 3.2 Voorbeeld van piping: het ontstaan van een zandmeervoerende wel (foto, van [www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl](http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl))

Heave is het ontstaan van drijfzand (het fluidiseren of opbarsten van grond) bij verticaal uittredend grondwater. Dit gebeurt met name op locaties waar de afdekkende grondlaag lokaal dun is (dijksloot) of bij geconcentreerde verticale kwelstroming, bijvoorbeeld ter plaatse van een kwelscherm. Heave vindt plaats bij (langdurig aanhoudende) hoge buitenwaterstanden (de waterstand is dus dominant).

### 3.2.3 Macro-instabiliteit binnenwaarts

De term macro-instabiliteit wordt gebruikt voor het afschuiven van grote delen van het grondlichaam van de waterkering. Macro-instabiliteit vindt plaats als er door overbelasting geen krachtenevenwicht meer bestaat in het grondpakket. Een hoog freatisch vlak in het grondlichaam (door een hoge buitenwaterstand, de waterstand is dus dominant) zorgt voor hogere waterspanningen en een grotere kans op het optreden van macro-instabiliteit. De term binnenwaarts duidt aan dat het afschuiven aan de binnenzijde van de dijk plaatsvindt.

### 3.2.4 Macro-instabiliteit buitenwaarts

Macro-instabiliteit buitenwaarts is hetzelfde als macro-instabiliteit binnenwaarts, alleen dan wanneer het afschuiven plaatsvindt aan de buitenzijde van de waterkering (dit faalmechanisme treedt op lage buitenwaterstanden en een hoog freatisch vlak in het grondlichaam, bijvoorbeeld bij vallend water).

### 3.2.5 Micro-instabiliteit

Bij micro-instabiliteit kent het grondlichaam een hoog freatisch vlak (door een hoge buitenwaterstand) dat zorgt voor een grondwaterstroming van binnenin de waterkering naar buiten. Hierdoor kan bijvoorbeeld dijkmateriaal uitspoelen, of de toplaag van het binnentalud instabiel worden (zoals het opdrukken van de kleilaag).

### 3.2.6 Instabiliteit voorland

Wanneer het voorland (geen onderdeel van de waterkering) faalt door afschuiving of zettingsvloeiing, kan dit grote gevolgen hebben voor de stabiliteit van de waterkering zelf. Zettingsvloeiing treedt op bij belasting (door schuifspanningen) van losgepakte, verzadigde zandlagen. Door de volumeverkleining die hierop volgt neemt de waterspanning in de grondlaag toe, waardoor verweking optreedt.

## 3.3 Niet-waterkerende objecten

Niet-waterkerende objecten (NWO's, denk bijvoorbeeld aan bomen, trapjes, etc.) bevinden zich in, op of bij de waterkering maar maken er geen deel van uit. In sommige gevallen heeft de aanwezigheid of het falen van een NWO een negatieve invloed op het waterkerend vermogen.

Vanwege de grote verscheidenheid in NWO's zijn er geen generieke ontwerprandvoorwaarden af te leiden. NWO's spelen met name een rol bij de faalmechanismes piping, bekledingen en macro-instabiliteit. In deze gevallen kunnen de ontwerprandvoorwaarden behorende bij die faalmechanismes gebruikt worden.

## 3.4 Stormduur en belastingduur

Voor een aantal faalmechanismes is de duur van de storm of de duur van de belasting van belang. In Tabel 3.2 is per regio aangegeven van welke stormduur moet worden uitgegaan volgens de HR2006.

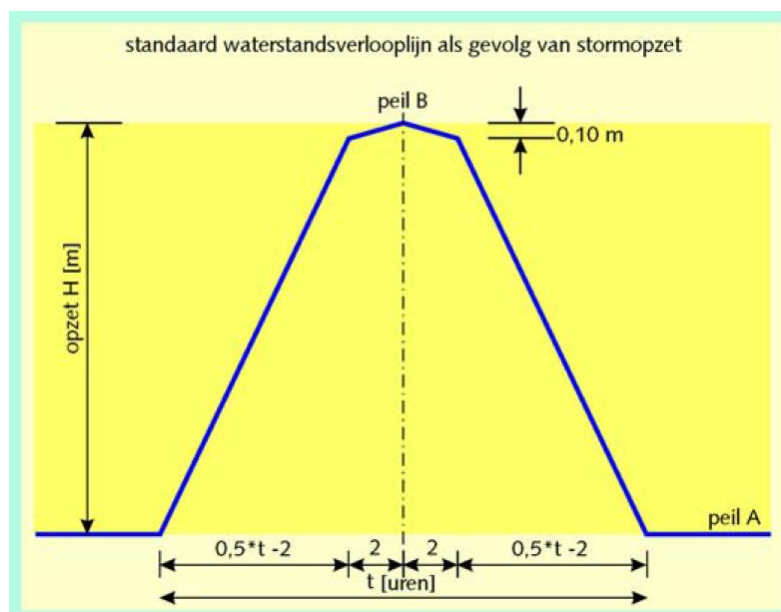
Tabel 3.2 Overzicht van stormduren per watersysteem, uit Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007b, HR 2006) en Deltares (2011a).

Watersysteem	Stormduur [uur]
Waddenzee	45
Overige kust	35
Meren	48
Benedenrivieren	46

Tijdens de storm heeft de waterstand een bepaald verloop, zie Figuur 3.3. Voor de kust (incl. Waddenzee), de Westerschelde en de delta's ligt peil A op de gemiddelde waterstand en peil B is gelijk aan  $MHW^2 - GGA$  (gemiddelde getijamplitude). Voor meren is de vorm hetzelfde, maar is peil A het streefpeil (SP) en peil B is MHW. Voor de Oosterschelde wordt een blokvormig stormverloop aangenomen, voor meer details, zie Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007b, HR 2006).

<sup>2</sup> MHW staat voor *Maatgevend Hoog Water*: de waterstand die met de normfrequentie voorkomt.





Figuur 3.3 Waterstandsverloop tijdens een storm, uit Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007b, HR 2006).

Het maatgevende verloop van de waterstand en de duur van de maatgevende storm zal waarschijnlijk in het kader van WTI2017 aangepast gaan worden. Dat is op dit moment echter nog niet bekend.

Naast de stormduur is ook het getijdeverloop van belang voor de belastingduur. Voor het getijdeverloop dient uit te worden gegaan van een gemiddeld getij (dus geen spring- of doottij) dat precies in fase loopt met de stormopzet, anders gezegd: de pieken van zowel het getij als de stormopzet vinden gelijktijdig plaats<sup>3</sup>.

Merk op dat binnen WTI2017 waarschijnlijk wel met een faseverschil tussen getij en stormopzet gerekend wordt, maar dat is op het moment van schrijven nog niet definitief besloten.

<sup>3</sup> Let op! Het in acht nemen van een faseverschil voor de bepaling van de belastingduur staat los van het meenemen van een faseverschil in de productieberekeningen die in de Hydra modellen gebruikt worden. In de productieberekeningen voor WTI2011 wordt namelijk al wel een faseverschil meegenomen.



## 4 Generieke aanpak voor afleiden ontwerprandvoorwaarden

In dit hoofdstuk wordt de algemene werkwijze voor het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden gepresenteerd (de specifieke stappenplannen voor de afleiding zijn te vinden in Hoofdstukken 6, 7 en 8).

### 4.1 Aannames en uitgangspunten

#### 4.1.1 Instrumenten

De instrumenten die genoemd worden in dit rapport zijn onderstaand opgesomd. Deze zijn (op aanvraag) verkrijgbaar via de Helpdesk Water ([www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)).

- Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties
- Hydra-Zoet v1.6.3
- PC-Overslag v3.1
- WindWater versie 2004
- Golfbelasting in havens en afgeschermd gebied (rapport & Excel spreadsheet)
- Hydra-Zoet databases:
  - CR2011\_Meer\_IJsselmeer (meerdere)
  - HR2006\_Meer\_Markermeer (meerdere)

In het hoofdrapport wordt ervan uitgegaan dat de uitvoerpunten in de Hydra's voldoende zijn voor de ontwerplocatie. Wanneer er geen Hydra uitvoerpunten nabij de ontwerplocatie zijn, kan er niet zomaar gebruik worden gemaakt van de Hydra's. In deze gevallen wordt sterk aangeraden om specialistisch advies in te winnen<sup>4</sup>. Hierbij kan het algemenere stappenplan uit Hoofdstuk 9 van Bijlage C een handvat bieden.

#### 4.1.2 Normen

Binnen WTI2017 wordt een overstap gemaakt van een norm op overschrijdingskans naar een norm op basis van overstromingskans. Hierdoor zijn er voor alle primaire waterkeringen nieuwe normen bepaald. Deze normen worden gespecificeerd op trajectniveau (zie Figuur 4.1, een dijkkring is vaak opgedeeld in één of meer trajecten). Dit betekent dat er nog een vertaling dient plaats te vinden van de trajectnorm naar een faalkanseis op doorsnedeniveau. Deze vertaling wordt verder uitgewerkt in Paragraaf 4.3.

#### 4.1.3 Zichtjaar

Het zichtjaar waarvoor de ontwerprandvoorwaarden worden bepaald hangt nauw samen met de levensduur of planperiode van het ontwerp en daarmee ligt de keuze voor een zichtjaar dus bij de ontwerper. Wanneer er binnen een ontwerp sprake is van verschillende onderdelen met verschillende zichtjaren, dienen er per onderdeel ontwerprandvoorwaarden te worden afgeleid voor het bijbehorende zichtjaar.

---

<sup>4</sup> Voor sommige gebieden is het mogelijk om nieuwe locaties op te nemen op basis van bestaande sommen. Hiervoor dient wel een nieuwe database te worden gemaakt of een bestaande database te worden uitgebreid.

## 4.1.4 Toekomstige maatregelen

Bij het afleiden van ontwerprandvoorwaarden kan het belangrijk zijn om rekening te houden met toekomstige maatregelen (bijv. rivierverruimende maatregelen) die tussen het heden en het zichtbaar gerealiseerd worden. Dit rapport beperkt zich tot dammen, zee- en meerdijken; watersystemen waar op dit moment geen toekomstige ruimtelijke maatregelen die de ontwerprandvoorwaarden beïnvloeden worden voorzien. Daarom wordt er in dit rapport geen rekening gehouden met toekomstige maatregelen. Het is de verantwoordelijkheid van de ontwerper om deze aanname voorafgaand aan het ontwerp voor de ontwerplocatie te verifiëren.



Figuur 4.1 Kaart met signaalkansnorm per traject, uit M. I&M en M. EZ (2014, NWP 2016-2021).

#### 4.1.5 Toekomstige beleidswijzigingen

Wanneer het vigerende beleid in de toekomst wordt gewijzigd, kan dat effect hebben op de ontwerprandvoorwaarden in het zichtjaar (bijv. een wijziging in streefpeil of inzetprotocollen voor regelwerken en stormvloedkeringen). In dit document wordt voorgesorteerd op de beleidswijzigingen die op het moment van schrijven waarschijnlijk worden geacht.

Voor meren is het streefpeil een beheerkeuze, die o.a. afhangt van de beschikbare spuicapaciteit. Voor het IJsselmeer en Markermeer is beleidsmatig gekozen om de spuicapaciteit tot 2050 te laten meegroeien, zodat het huidige streefpeil kan worden gehandhaafd (effectief geen meerpeilstijging). Na 2050 is het voornemen om het IJsselmeerpeil mee te laten stijgen met de zeespiegel (Deltares, 2014a), het Markermeerpeil stijgt met 60% van de zeespiegelstijging (Ministerie van Verkeer en Waterstaat & ENW, 2009).

Voor meer voorbeelden van beleidsonzekerheden, zie Bijlage C Hoofdstuk 6.5.

#### 4.1.6 Klimaatscenario

Omdat er ontworpen wordt voor een zichtjaar in de toekomst, moet er ook rekening worden gehouden met klimaatverandering. Hoe het klimaat in de toekomst zal veranderen is onzeker en daarom moet er een aanname over gedaan worden. In HWBP projecten (Deltares, 2014a) wordt rekening gehouden met klimaatscenario W+ (KNMI, 2006). Deze aanname wordt binnen dit rapport overgenomen. Dit komt effectief neer op een zeespiegelstijging van 0,35 m in 2050 en 0,85 m in 2100 (beiden t.o.v. 1990).

Let op: vaak ligt het referentiejaar van de toetssoftware verder in de tijd dan het referentiejaar van dit klimaatscenario (1990), zodat een deel van de zeespiegelstijging al is meegenomen in de toetssoftware! In het geval van Hydra-K is er al 0,07 m zeespiegelstijging verwerkt (het gaat dus uit van het jaar 2017), waardoor de resterende zeespiegelstijging neerkomt op 0,28 m in 2050 en 0,78 m in 2100 (Deltares, 2013). In Hydra-Zoet is het afhankelijk van welke randvoorwaarden database er gebruikt wordt. Dit is voor dit rapport echter minder relevant, omdat er in dit verband alleen met de Marker- en IJsselmeerdatabases wordt gerekend, waarin de zeewaterstand geen rol speelt.

#### 4.1.7 Waterkeringen achter havendammen

Wanneer de waterkering zich achter een havendam bevindt is er vaak sprake van een speciale situatie, omdat veel havendammen zelf niet in de Hydra modellen worden meegenomen, er is slechts een punt bij de haveningang beschikbaar (dus zonder het golfreducerende effect van de havendammen)<sup>5</sup>. Wanneer men het golfreducerende effect van havendammen wel wil meenemen (bijvoorbeeld met het instrument 'Golfbelasting in havens en afgeschermd gebieden' RIKZ, 2004), moet de standzekerheid van de havendammen zelf worden aangetoond. De methodiek hiervoor is opgenomen in Katern 5, Hoofdstuk 5 van het VTV2006 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007a).

Een versie van het instrument 'Golfbelasting in havens en afgeschermd gebieden' wordt geïntegreerd in de nieuwe toetssoftware binnen WTI2017, zodat de vertaling direct meegenomen kan worden in de probabilistische berekeningen (i.p.v. op een deterministische manier). Met hulp van specialisten kan er dan een database voor de haven worden gegenereerd, die gekoppeld kan worden aan de Hydra-modellen.

---

<sup>5</sup> In WTI2017 zijn er in een aantal gevallen in de watersystemen IJssel- en Vechtdelta en Rijn-Maasmonding wel uitvoerpunten beschikbaar achter havendammen.

#### 4.1.8 Bodemverandering

In sommige watersystemen speelt bodemdaling een rol wanneer het zichtjaar in de toekomst ligt. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen een globale daling van de bodem (bijv. seculaire zettingen of zettingen door de effecten van zout-, olie- of gaswinning) en lokale morfologische veranderingen van het voorland voor een waterkering (erosie van het voorland).

Globale bodemdaling kan op dezelfde manier meegenomen worden als zeespiegelstijging; het heeft immers een vergelijkbaar effect op de waterdiepte (in feite is het dan relatieve zeespiegelstijging). De globale bodemdaling kan dan simpelweg opgeteld worden bij de (absolute) zeespiegelstijging en verdisconteerd worden op de manier beschreven in Paragraaf 5.1.3 en 5.2.5.

Op eenzelfde manier kan ook worden omgegaan met bodemstijging door aanzanding; globale effecten kunnen verdisconteerd worden als zeespiegeldaling en lokale effecten kunnen zorgen voor golfbreking (zie Paragraaf 4.4.2).

Het meenemen van een bepaalde mate van aanzanding is echter een beleidsbeslissing voor de waterkeringbeheerder, er zijn namelijk monitoring en beheer aspecten mee gemoeid. Hierbij moet er op gelet worden dat de aangenomen mate van aanzanding ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd vanwege het potentieel reducerende effect van de aanzanding op golfcondities.

Een lokale bodemdaling beïnvloedt een veel beperkter gebied en dient dus op een andere manier te worden meegenomen. Dit kan op twee manieren; enerzijds door het inschakelen van een specialist die, met behulp van de voorlandmodule<sup>6</sup> (Deltares, 2014b), het effect van een verandering in het voorland kan kwantificeren. Anderzijds door een vuistregel te hanteren die een realistische schatting van het effect geeft. De vuistregel luidt als volgt: voor diepte-gelimiteerde golven die breken op een voorland, kan er gebruik worden gemaakt van de ratio tussen golfhoogte en waterdiepte; voor elke meter daling van het voorland groeit de golfhoogte met 0,50 m. Wanneer het golven betreft die niet diepte-gelimiteerd zijn, wordt aangenomen dat een lokale bodemdaling de golven niet beïnvloedt.

#### 4.1.9 Toeslagen

Het effect van verschillende vormen van onzekerheid wordt middels toeslagen op waterstand, golfhoogte en -periode verrekend. Dit is nodig omdat binnen WTI2017 waarschijnlijk gekozen gaat worden voor het rekenen met de statistische onzekerheid van een aantal basisstochasten die niet in de Hydra software (ontwikkeld voor een vorige toetsronde) zijn meegenomen. In Tabel 4.1 wordt de robuustheidstoeslag weergegeven die binnen OI2014 wordt gehanteerd (voor dit rapport zijn slechts de watersystemen 'Meren' en 'Waddenzee, Kust, Westerschelde en Oosterschelde' relevant). Deze robuustheidstoeslag is bedoeld om het effect van de modelonzekerheid van de waterbewegingsmodellen te verdisconteren<sup>7</sup> en zo te komen tot een robuust ontwerp.

---

<sup>6</sup> De voorlandmodule komt ook in Hydra-NL en Hydra-Ring, maar deze software is op het moment van schrijven nog in ontwikkeling.

<sup>7</sup> Let op! In sommige gevallen leidt een hogere waarde (na toepassing robuustheidstoeslag) niet tot een hogere belasting (zie ook Paragraaf 7.1 en Hoofdstuk 7.3 van Bijlage C)!

Het is hierbij denkbaar dat de simpele vuistregels voor controle van fysisch realisme tekort schieten voor de situatie na het aanbrengen van toeslagen en daarom geschiedt de controle op fysisch realisme (zoals beschreven in Paragraaf 4.4) vóór het toepassen van de toeslagen. Situaties die leiden tot randvoorwaarden die na toeslagen niet aan de simpele vuistregels voldoen kunnen vastgelegd worden in de rapportage, maar de randvoorwaarden dienen niet gecorrigeerd te worden.

Binnen WTI2017 wordt overwogen om naast de modelonzekerheid ook de statistische onzekerheid van de basisstochasten mee te nemen. Het effect van de statistische onzekerheid is niet verwerkt in de hierboven gegeven robuustheidstoelage. In een update van het OI2014 (Deltares, 2015) wordt een nieuwe 'onzekerheidstoelage' voorgesteld, waarin de effecten van zowel modelonzekerheid als statistische onzekerheid worden verdisconteerd. Op het moment van schrijven van dit rapport is de update van OI2014 (en dus de onzekerheidstoelage) nog niet beschikbaar. Deze verschijnt naar verwachting later in het jaar 2015. Het is aan de ontwerper om na te gaan of het rapport (Deltares, 2015) t.z.t. wel beschikbaar is en de daar genoemde onzekerheidstoelage toe te passen, in plaats van de waardes gegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Robuustheidstoelagen per watersysteem, uit Deltares (2014a)

Watersysteem	Parameter	Robuustheidstoelage
Rivieren	Waterstand	+ 0,30 m
Meren (exclusief Ketelmeer)	Waterstand	+ 0,40 m
	Golfhoogte ( $H_{m0}$ )	+ 10%
	Golfperiode ( $T_{m-1,0}$ )	+ 10%
Ketelmeer	Waterstand	+ 0,40 m
	Golfhoogte ( $H_{m0}$ )	+ 10%
	Golfperiode ( $T_{m-1,0}$ )	+ 10%
Benedenrivieren (Haringvliet en Hollandsch Diep)	Waterstand	+ 0,40 m
	Golfhoogte ( $H_{m0}$ )	+ 10%
	Golfperiode ( $T_{m-1,0}$ )	+ 10%
Waddenzee, Kust, Westerschelde en Oosterschelde	Waterstand	+ 0,40 m
	Golfhoogte ( $H_{m0}$ )	+ 10%
	Golfperiode ( $T_{m-1,0}$ )	+ 10%

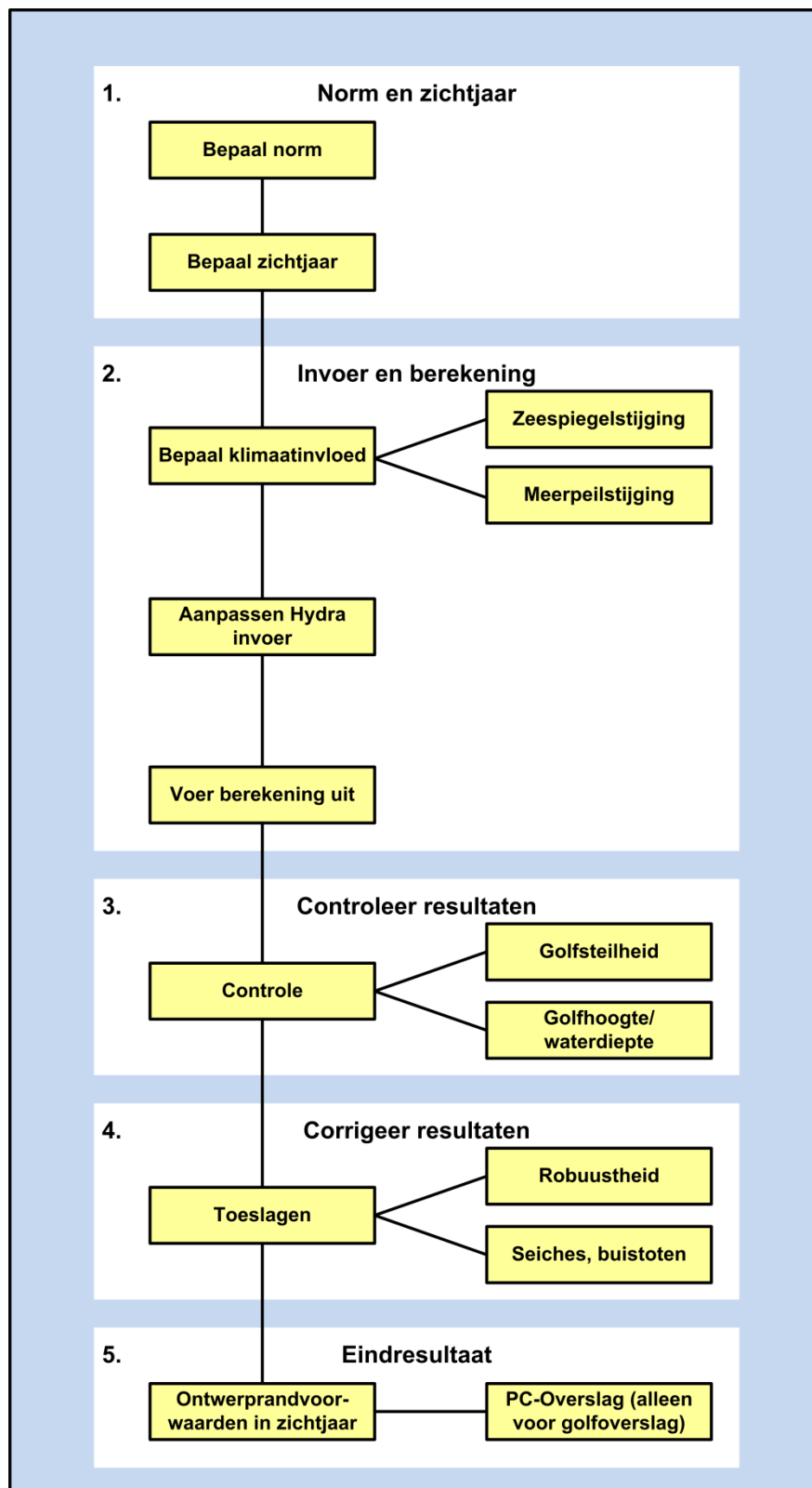
Voor meer achtergronden m.b.t. toeslagen, zie Hoofdstuk 6 van Bijlage C.

## 4.2 Recept afleiding ontwerprandvoorwaarden

Het afleiden van ontwerprandvoorwaarden voor een bepaald zichtjaar volgt een generiek stramien, dat is weergegeven in Figuur 4.2. De nummering van deze generieke stappen wordt ook aangehouden in Hoofdstukken 6, 7 en 8. Eventuele iteraties binnen dit stappenplan, benodigd voor optimalisatie van het ontwerp en het zichtjaar, zijn niet in dit schema opgenomen, maar in de praktijk mogelijk wel nodig.

- 1 Norm en zichtjaar  
Het zichtjaar wordt bepaald en de norm wordt omgerekend naar een faalkanseis per doorsnede voor een specifiek faalmechanisme.
- 2 Invoer en berekening  
Alle invoer voor de berekening met de toetssoftware wordt geprepareerd. Daarnaast worden de klimaatinvloeden in het zichtjaar verwerkt.
- 3 Controle resultaten  
Er wordt gecontroleerd of de resultaten fysisch realistisch zijn.
- 4 Correctie resultaten  
De resultaten uit de berekening worden gecorrigeerd met toeslagen om de invloed van verschillende bronnen van onzekerheid te verdisconteren.
- 5 Eindresultaat  
Uiteindelijk heeft men de ontwerprandvoorwaarden in het zichtjaar bemachtigd. Voor het faalmechanisme golfoverslag moet het uiteindelijke overslagdebiet met PC-Overslag berekend worden. Wanneer de beschouwde waterkering zich in een haven of anderszins afgeschermd gebied bevindt, moet eerst de standzekerheid van de havendammen worden aangetoond alvorens het golfreducerende effect in rekening mag worden gebracht (zie Paragraaf 4.1.7).



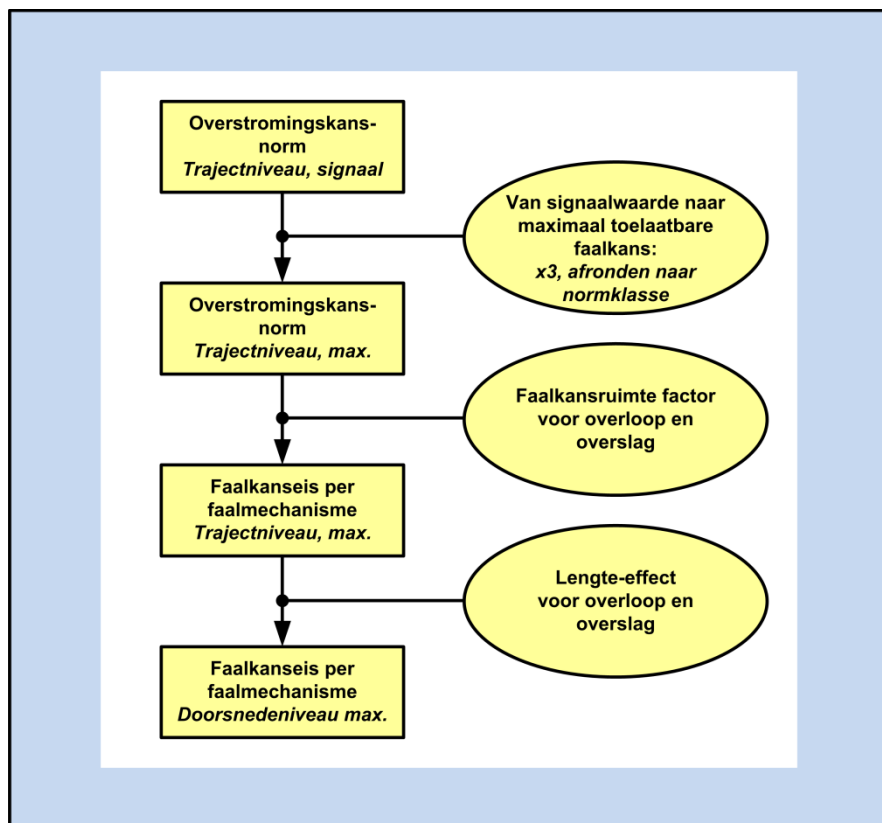


Figuur 4.2 Stroomschema voor het afleiden van ontwerprandvoorwaarden voor dammen, zee- en meerdijken.

### 4.3 Vertaling van trajectnorm naar faalkanseis per doorsnede

De overstromingskansnorm waar een waterkering aan moet voldoen is gespecificeerd als signaalwaarde (ook wel 'middenkans'); als een waterkering niet meer aan deze norm voldoet is dit een indicatie dat er waarschijnlijk een ingreep nodig is. Anderzijds bestaat er de maximaal toelaatbare faalkans (ook wel 'afkeurkans'), een waterkering wordt afgekeurd als deze niet meer aan de kans voldoet. De signaalwaarde is een normklasse strenger (en dus kleiner) dan de maximaal toelaatbare faalkans (RWS WVL, 2015). Bij het ontwerp van een nieuwe waterkering dient deze aan het einde van de levensduur (dus in het zichtjaar) nog net aan de maximaal toelaatbare faalkans te voldoen.

De overstromingskansnorm wordt op trajectniveau en voor alle faalmechanismes samen gespecificeerd. Het ontwerpen en dimensioneren van een waterkering vindt echter plaats op doorsnedeniveau en per faalmechanisme (hetzelfde geldt overigens voor toetsen). Er moeten dus twee uitsplitsingen plaatsvinden; één naar de verschillende faalmechanismes en één naar de doorsnedes binnen een traject (zie Figuur 4.3).



Figuur 4.3 Stroomschema voor de vertaling van de overstromingskansnorm naar faalkanseis, voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag.

De uitsplitsing naar faalmechanismes gebeurt op basis van faalkansruimtefactoren. Deze factoren geven de maximale fractie van de trajectkans mag worden benut door een specifiek faalmechanisme (de faalkans horende bij het faalmechanisme Overloop en golfoverslag mag bijvoorbeeld niet meer dan 24% van de trajectkans beslaan, zie RWS WVL, Deltares en VNK2 (2013a)). Bij de afleiding van de faalkansruimtefactoren is getracht de werkelijke aandelen van de verschillende faalmechanismes zo dicht mogelijk te benaderen.

Bij het uitsplitsen naar een faalkanseis op doorsnedeniveau moet er rekening gehouden worden met het zogenaamde lengte-effect. Het lengte-effect maakt dat een lange dijk een grotere faalkans heeft dan een korte dijk. De grootte van het effect is afhankelijk van de ruimtelijke correlatie van de betrokken variabelen (stochasten). Omdat er voor elk faalmechanisme een andere combinatie van variabelen (gerelateerd aan zowel belasting als sterkte) invloed heeft, is het lengte-effect afhankelijk van het beschouwde faalmechanisme.

De invloed van de faalkansbegroting en het lengte-effect wordt op twee verschillende manieren verdisconteerd. Enerzijds worden voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag beide invloeden meegenomen bij de bepaling van de faalkanseis op doorsnedeniveau (resultierend in een strengere faalkanseis). Bij alle overige faalmechanismen wordt het effect van de faalkansbegroting en het lengte-effect verwerkt in de veiligheidsfactoren voor dat faalmechanisme (het effect wordt aan de sterkte kant verwerkt, in plaats van aan de belasting kant). Dat betekent dat de omrekening van trajectnorm naar faalkanseis per doorsnede (zoals weergegeven in Figuur 4.3) alleen volledig hoeft te worden doorlopen voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag, en dat voor alle andere faalmechanismen alleen de signaalwaarde naar een maximaal toelaatbare faalkans hoeft te worden vertaald (dus slechts de eerste stap in Figuur 4.3).

Allereerst dient (voor alle faalmechanismen, incl. overloop en golfoverslag) de signaalwaardenorm op trajectniveau vertaald te worden naar een maximaal toelaatbare faalkans op trajectniveau (zoals al gezegd is de signaalwaarde een normklasse strenger dan de maximaal toelaatbare faalkans, dit komt neer op een factor 3, waarbij afgerond wordt naar de dichtstbijzijnde normklasse):

$$P_{norm,traject} = 3 \cdot P_{norm,traject,middenkans}$$

Daarna moet, voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag, de norm op trajectniveau naar de faalkanseis op trajectniveau vertaald worden met de onderstaande vergelijking (de factor  $\omega$  voor overslag is 24%, zie RWS WVL, Deltares en VNK2 (2013a)):

$$P_{eis,traject} = P_{norm,traject} \cdot \omega_{overslag}$$

Voor het faalmechanisme overloop en golfoverslag is het lengte-effect (in de vorm van  $N_{overslag}$ ) reeds per traject beschikbaar (zie Bijlage A), en moet als volgt worden gehanteerd:

$$P_{eis,i} = \frac{P_{eis,traject}}{N_{overslag}}$$

Deze laatste twee stappen kunnen overgeslagen worden voor de andere faalmechanismen dan overloop en golfoverslag.

#### 4.3.1 Uitgewerkt voorbeeld

Onderstaand wordt een fictief voorbeeld getoond van de omrekening van trajectnorm naar faalkanseis per doorsnede.

*Stel we willen een dijkdoorsnede dimensioneren op de faalmechanismen Golfoverslag en Piping. De doorsnede bevindt zich in een dijktraject langs de Noordzeekust met een trajectnorm van 1/3.000 per jaar.*

##### Golfoverslag

*Het faalmechanisme golfoverslag heeft een faalkansruimtefactor van 0,24 en het lengte-effect is reeds gegeven en heeft een N-waarde van 3 (zie Bijlage A). Het omrekenen van trajectnorm naar faalkanseis voor golfoverslag per doorsnede gaat dan als volgt:*

$$P_{\text{overslag,doorsnede}} = \frac{3 \cdot P_{\text{traject,midden}} \cdot \omega}{N_{\text{overslag}}} = \frac{3 \cdot \frac{1}{3.000} \cdot 0,24}{3} = \frac{1}{12.500}$$

### Bekledingen

Voor bekledingen hoeft slechts rekening gehouden te worden met de vertaling van signaalwaarde naar maximaal toelaatbare faalkans. Dit gebeurt als volgt:

$$P_{\text{piping,doorsnede}} = 3 \cdot P_{\text{traject,midden}} = 3 \cdot \frac{1}{3.000} = \frac{1}{1.000}$$

Merk op dat de faalkanseis per doorsnede verschillend is tussen golfoverslag en de andere faalmechanismes!

## 4.4 Controle ontwerprandvoorwaarden

Door het uitvoeren van enkele eenvoudige controleberekeningen kan worden nagegaan of de afgeleide randvoorwaarden fysisch realistische waarden bevatten. Er wordt op drie punten gecontroleerd; golfsteilheid, verhouding golfhoogte/waterdiepte en ruimtelijke consistentie, vergelijkbaar met de controles binnen Steentoets (Deltares, 2012). In dit geval zijn de formules ook omgeschreven naar  $T_{m-1,0}$  i.p.v.  $T_p$ , onder de aanname dat  $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$ .

### 4.4.1 Golfsteilheid

De golfsteilheid (fictieve waarde op diep water op basis van  $T_p$ ) dient kleiner te zijn dan een maximumwaarde van 0,08. De golfsteilheid wordt berekend met de onderstaande formule:

$$s_{op} = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2} \approx \frac{H_s}{1,56 T_p^2} < 0,08$$

$$s_{om} = \frac{2\pi H_s}{g T_{m-1,0}^2} \approx \frac{H_s}{1,56 T_{m-1,0}^2} < 0,1$$

Hierin is  $s_{op}$  of  $s_{om}$  de golfsteilheid (-),  $g$  de zwaartekrachtsconstante ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $H_s$  de significante golfhoogte (m) en  $T_p$  de golfpiekperiode (s).

Een golfsteilheid groter dan 0,08 duidt mogelijk op fysisch onrealistische resultaten (te steile golven). In dit geval wordt aangeraden om deskundigen te raadplegen.

### 4.4.2 Verhouding golfhoogte/waterdiepte

In ondiep water wordt de maximale golfhoogte gelimiteerd door de waterdiepte. De verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte moet kleiner zijn dan 0,6 op een halve golflengte ( $L_p$ ) van de teen van de dijk. In formulevorm:

$$H_{s,max} < 0,6d$$

met diepte  $d$  op  $\frac{L_p}{2} = \frac{1}{2} \frac{g T_p^2}{2\pi} \approx 0,5 * 1,56 T_p^2 \approx 0,6 * 1,56 T_{m-1,0}^2$  van de dijkteen

Hierin is  $d$  de waterdiepte en  $L_p$  de fictieve golflengte behorende bij de piekperiode.

Wanneer de verhouding golfhoogte/waterdiepte groter is dan 0,6 is er mogelijk sprake van fysisch onrealistische resultaten (hogere golven dan bij die waterdiepte zouden kunnen optreden). In dit geval wordt aangeraden om deskundigen te raadplegen.

#### 4.4.3 Ruimtelijke consistentie

De verwachting is dat er een ruimtelijk consistent beeld zou moeten zijn tussen locaties die dichtbij elkaar liggen. Daarom moeten de resultaten van de beschouwde locatie vergeleken worden met nabij gelegen locaties en de verschillen verklaard worden, met andere woorden: belastingen moeten logisch aansluiten op naastgelegen locaties. Vaak ligt de verklaring van eventuele verschillen in ruimtelijke kenmerken zoals de aanwezigheid van banken, geulen of een verschil in oriëntatie van de dijknormaal. Wanneer er geen logische verklaring is voor de waargenomen verschillen wordt aangeraden om deskundigen te raadplegen.



## 5 Handleiding aanpassen modelinvoer

Om ontwerprandvoorwaarden te kunnen afleiden is het vaak nodig om de invoer van de toetssoftware aan te passen, bijvoorbeeld om het effect van zeespiegelstijging mee te nemen, of het beoogde ontwerpprofiel toe te voegen. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de modelinvoer van Hydra-K en Hydra-Zoet moet worden aangepast voor het afleiden van ontwerprandvoorwaarden.

### 5.1 Hydra-K

Voor het genereren van de maatgevende waterstanden en golfcondities voor de toetsing van dijken langs de zoute wateren wordt het programma Hydra-K gebruikt. Met Hydra-K kan dit voor de faalmechanismes 'instabiliteit bekledingen', 'overloop en overslag' probabilistisch worden berekend, gegeven een bepaalde terugkeertijd. In HKV (2012a) en Deltares (2011b) wordt de basisfunctionaliteit van Hydra-K nader toegelicht. In Hoofdstuk 8 staat uitgelegd hoe hiermee ook de ontwerprandvoorwaarden voor de overige mechanismen kunnen worden bepaald.

#### 5.1.1 Terugkeertijd

Voor het bepalen van de ontwerpcondities is het nodig om de terugkeertijd aan te passen. Dit dient voor een Hydra-K simulatie in batch modus direct in de achterliggende database te gebeuren. Maak daarom eerst een kopie van de database 'profielen.mdb' (aanwezig in de map 'data') en hernoem deze kopie naar 'profielen\_origineel.mdb'. Open daarna 'profielen.mdb' en pas voor de beschouwde locaties zowel de 'Terugkeertijd' aan in de tabel 'Terugkeertijden' als de 'Overschrijdingskans' in de tabel 'Locatie' en sla de database op. Vervolgens zal Hydra-K gebruik maken van de nieuwe terugkeertijden en overschrijdingskansen.

#### 5.1.2 Kritiek overslagdebiet

Voor het berekenen van het hydraulisch belastingniveau wordt gebruik gemaakt van een kritiek overslagdebiet. Hoe groot dit debiet mag zijn is een ontwerpkeuze. Het aanpassen hiervan dient voor een Hydra-K simulatie in batch modus direct in de achterliggende database te gebeuren. Maak daarom eerst een kopie van de database 'profielen.mdb' (aanwezig in de map 'data') en hernoem deze kopie naar 'profielen\_origineel.mdb'. Open daarna 'profielen.mdb' en pas voor de beschouwde locaties het 'KritiekOverslagdebiet' aan in de tabel 'Profiel' en sla de database op. Vervolgens zal Hydra-K gebruik maken van de nieuwe kritieke overslagdebieten.

#### 5.1.3 Zeespiegelstijging

Voor het ontwerp moet ook rekening gehouden worden met de zeespiegelstijging (en bodemdaling, zie 4.1.7) in de planperiode. Dit wordt opgegeven in het invoerbestand 'BatchInputTemplate.txt'. Hoe dit kan worden aangepast, wordt beschreven bij de stap 'Invoer en berekening' in Hoofdstukken 6, 7 en 8.

#### 5.1.4 Ontwerpprofiel

Het toevoegen van een dwarsprofiel van de ontworpen dijk dient, net als voor de terugkeertijd, in de 'profielen.mdb' database te gebeuren. Het gaat hier om een geschematiseerd ontwerpprofiel, bestaande uit een ondertalud, berm en boventalud. Controleer eerst of er inderdaad een hernoemde kopie van de originele database bestaat.

Open daarna 'profielen.mdb' en pas voor de beschouwde locaties in de tabel 'Dwarsprofiel' de profielen aan. De profielvorm wordt beschreven door drie segmenten of lijnstukken, gekenmerkt door 'Segment\_ID' 1 (benedentalud), 2 (berm) en 3 (boventalud). Elk lijnstuk heeft een begin coördinaat ('X1' en 'Z1') en een eind coördinaat ('X2' en 'Z2'). Controleer daarnaast of de oriëntatie van de dijk (richting van de lijn haaks op de dijk, ten opzichte van Noord) in de tabel 'Dijknormaal' nog steeds correct is.

#### 5.1.5 Faalmechanismes

Welk faalmechanisme wordt doorgerekend is aangegeven in het invoerbestand 'BatchInputTemplate.txt'. Hoe dit moet worden aangepast wordt beschreven bij de stap 'Invoer en berekening' in Hoofdstukken 6, 7 en 8.

#### 5.1.6 Regio's

Binnen Hydra-K moet een regio gekozen worden waar de berekening plaats vindt. De beschikbare regio's zijn (zie ook Bijlage B):

- Westerschelde
- Oosterschelde
- Oosterscheldekering
- Verbindingen
- Kust Zuid
- Kust Midden
- Kust Noord
- Waddenzee West
- Waddenzee Oost

## 5.2 Hydra-Zoet

Hydra-Zoet is binnen WTI2011 ontwikkeld voor het (semi-)probabilistisch afleiden van Hydraulische Randvoorwaarden voor de toetsing van dijken langs de zoete wateren. Omdat het zichtjaar bij het bepalen van ontwerprandvoorwaarden relatief ver in de toekomst ligt, zijn verscheidene programma's die invloed hebben op waterstanden en afvoerdebieten (zoals PKB Ruimte voor de Rivier) al verdisconteerd in de database behorende bij het zichtjaar. Voor uitleg over de basisfunctionaliteit van Hydra-Zoet (zoals het selecteren en inladen van een database fysica), zie HKV (2012b, 2012c).

#### 5.2.1 Deltamodel modus

In Hydra-Zoet is er t.b.v. het Deltamodel een aantal geavanceerde opties beschikbaar gesteld onder de noemer 'Deltamodel modus'. Voor een uitgebreide beschrijving, zie HKV (2012b).

Om veranderingen in rivierafvoeren en/of meerpeilen mee te kunnen nemen in een Hydra-Zoet berekening moet het programma in Deltamodel modus worden gebruikt, zie HKV (2012c).

#### 5.2.2 Toevoegen randvoorwaarden database

Om berekeningen te kunnen maken voor een watersysteem dient een database met randvoorwaarden te worden gebruikt (zie ook Paragraaf 4.1.1). Bij Hydra-Zoet worden niet standaard alle databases meegeleverd en ingeladen. Om een specifieke randvoorwaarden database beschikbaar te maken binnen Hydra-Zoet, ga naar het kopje 'Randvoorwaarden', 'Beheren'. Klik op 'Toevoegen' en navigeer naar de locatie van de gewenste randvoorwaarden database. Selecteer de gewenste database, klik op 'Open' en vervolgens

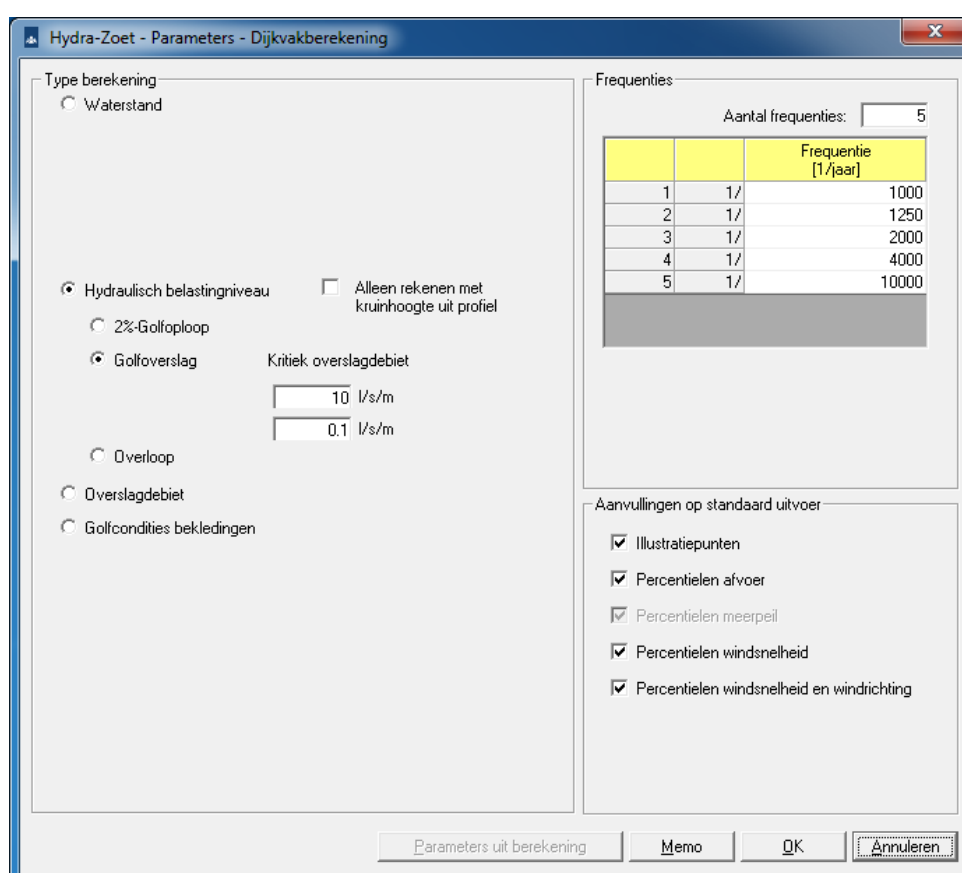


op 'OK'. De database moet nu zichtbaar zijn in het overzicht aan de rechterkant van het hoofdscherm.

### 5.2.3 Terugkeertijd

Voor het bepalen van de ontwerpcondities is het nodig om de terugkeertijd aan te passen. In het parameterscherm kunnen de terugkeertijden (of frequenties) worden ingevuld waarbij de berekening plaats vindt. Volg hiervoor de volgende stappen:

Ga voor het uitvoeren van de berekening naar het kopje 'Berekening', 'Start batchberekening(en)', 'Parameters', 'Frequenties'. Vul de gewenste frequenties in (zie Figuur 5.1).



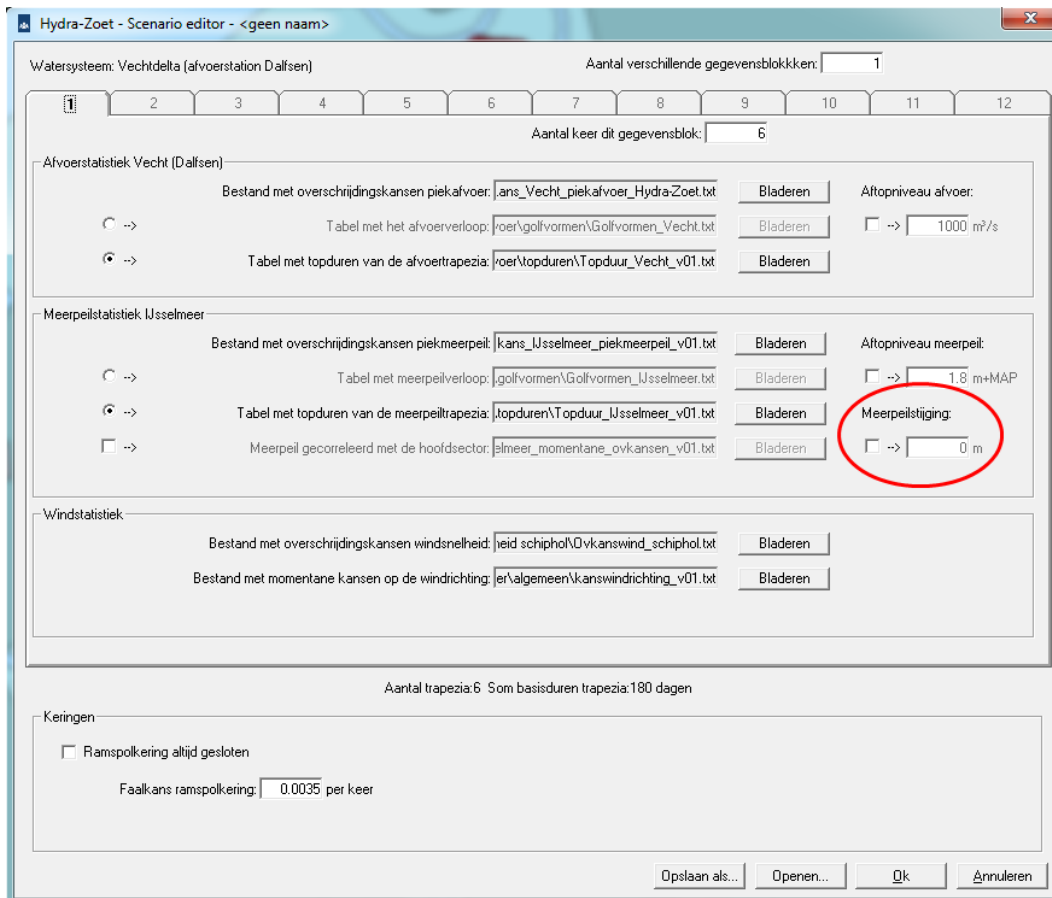
Figuur 5.1 Screenshot van het 'Parameters' scherm, met de invoer van een aantal terugkeertijden (of frequenties).

### 5.2.4 Meerpeilstijging

Door klimaatverandering of het wijzigen in het beheer kan het nodig zijn om de extremen in de rivierafvoer of het meerpeil in Hydra-Zoet aan te passen. Zoals bovenstaand al is aangegeven kan dit alleen wanneer Hydra-Zoet in Deltamodel modus wordt gebruikt. Voor enkele voorbeelden, zie HKV (2012d).

In de scenario-editor is een optie opgenomen om een verandering van het meerpeil mee te nemen. Volg hiervoor de volgende stappen:

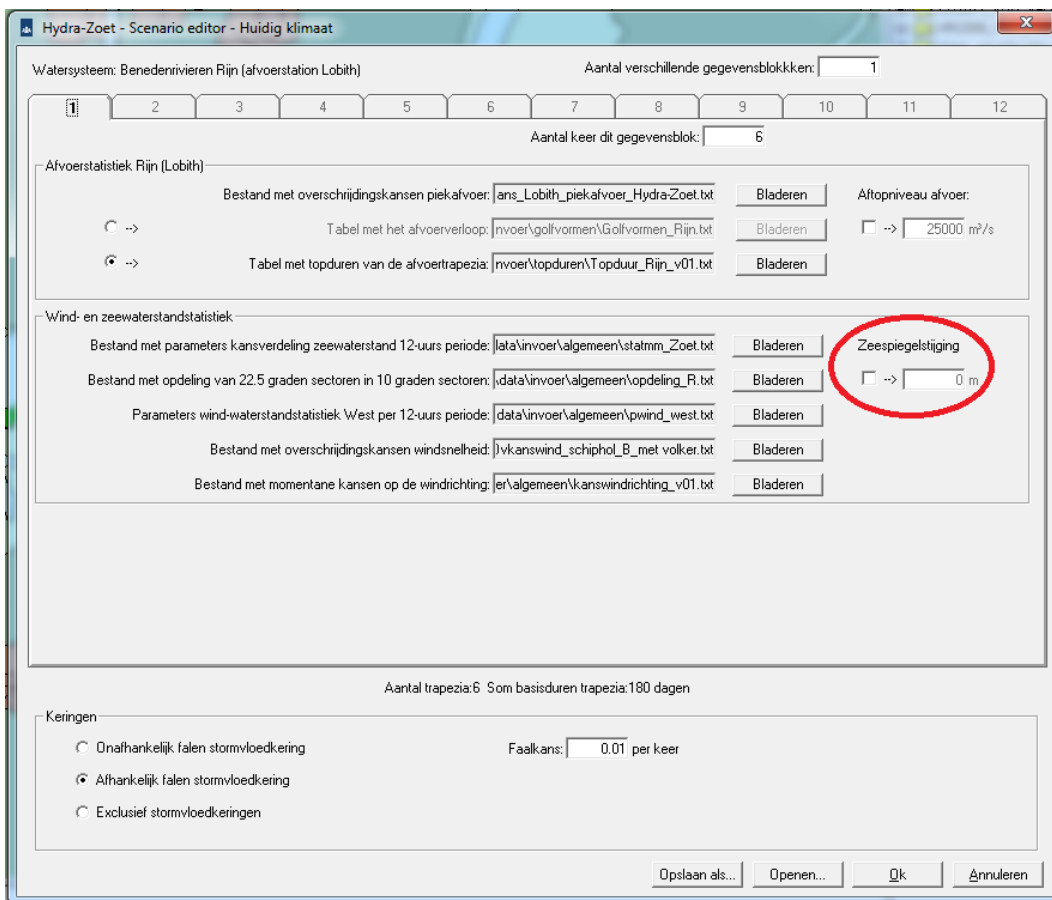
Ga voor het uitvoeren van de berekening naar het kopje 'Berekening', 'Start batchberekening(en)', 'Scenario editor', 'Meerpeilstijging'. Vink de optie aan en vul de gewenste meerpeilstijging (in meters) in (zie Figuur 5.2).



Figuur 5.2 Screenshot van de 'Scenario editor' met de mogelijkheid voor het invoeren van meerpeilstijging.

### 5.2.5 Zeespiegelstijging

Voor het ontwerp moet in sommige gevallen ook rekening gehouden worden met de zeespiegelstijging (en bodemdaling, zie 4.1.7) in de planperiode. Deze te worden ingevoerd in de interface. Ga voor het uitvoeren van de berekening naar het kopje 'Berekening', 'Start batchberekening(en)', 'Scenario editor', 'Zeespiegelstijging'. Vink de optie aan en vul de gewenste zeespiegelstijging (in meters) in (zie Figuur 5.3).



Figuur 5.3 Screenshot van de 'Scenario editor' met de mogelijkheid voor het invoeren van zeespiegelstijging.

### 5.2.6 Ontwerpprofiel

Voor de berekening van een golfoverslagdebiet is het van belang dat het (ontwerp)dwarsprofiel van de waterkering bekend is. Voer deze als volgt in:

Selecteer de beschouwde locatie in de Hydra-Zoet, ga naar 'Profiel', 'Nieuw...', en voer in de 'Profiel editor' het ontwerpprofiel in. Zie ook de gedetailleerde beschrijving van de 'Profiel editor' in HKV (2012b).

### 5.2.7 Faalmechanismes

In het 'Parameters' scherm kan aangegeven worden welk type berekening (welk faalmechanisme) dient te worden uitgevoerd.

Ga voor het uitvoeren van de berekening naar het kopje 'Berekening', 'Start batchberekening(en)', 'Parameters', 'Type berekening'. Vink het gewenste type aan (zie Figuur 5.1). Let op: sommige opties zijn alleen beschikbaar voor een bepaald type berekening.

In hoofdstuk 8 staat uitgelegd hoe hiermee ook de ontwerprandvoorwaarden voor de overige mechanismen kunnen worden bepaald.



## 6 Stappenplan Overloop en Golfverslag

Binnen het beoordelingsspoor hoogte worden feitelijk twee faalmechanismes bekeken, te weten overloop en golfverslag. Voor overloop is het MHW (maatgevend hoogwater) van belang, dit is de waterstand die hoort bij de faalkanseis op doorsnedeniveau.

Golfverslag treedt op bij een combinatie van een hoge waterstand en flinke golfcondities. De meest waarschijnlijke combinatie van waterstand, golfhoogte en -periode die precies zorgt voor het falen van de kering wordt gebruikt voor het ontwerp.

### 6.1 Zeedijken & Dammen

#### 1 Norm en zichtjaar

- 1.1 Bepaal de vigerende trajectnorm (zie Paragraaf 4.1.2) van de ontwerplocatie en vertaal deze naar een faalkanseis op doorsnedeniveau per faalmechanisme, rekening houdend met het lengte-effect en de faalkansruimtefactoren (zie Paragraaf 4.3).
- 1.2 Bepaal het zichtjaar van het project (zie Paragraaf 4.1.3).

#### 2 Invoer berekening

- 2.1 Gebruik Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties.
- 2.2 Voeg de betreffende ontwerpprofielen en bijbehorende oriëntaties van de dijknormalen (richting van de lijn haaks op de dijk, t.o.v. Noord) voor de beschouwde locaties toe aan de database (zie Paragraaf 5.1.4).
- 2.3 Pas de terugkeertijden in de database aan (zie Paragraaf 5.1.1), zodat deze overeenkomen met de faalkanseis zoals bepaald in stap 1. Zorg dat de invoer in 'BatchInputTemplate.txt' overeenkomt met Tabel 6.1. Let op: de regels in 'BatchInputTemplate.txt' die beginnen met een puntkomma (;) worden genegeerd!
- 2.4 Pas het kritiek overslagdebiet in de database aan indien nodig (zie Paragraaf 5.1.2). Het kritieke overslagdebiet voor de beoogde bekleding (meestal gras) is een ontwerpkeuze.
- 2.5 Run 'Hydra\_K\_Batch\_V3.6.5.exe', de resultaten worden opgeslagen in 'OverloopEnGolfverslag.txt'.

Tabel 6.1 Vereiste invoer in 'BatchInputTemplate.txt'.

Parameternaam	Waarde
ToetspeilCorrectie	NEE
ZeespiegelCorrectie	[Bepaal voor zichtjaar, zie Paragraaf 4.1.6]
Uitvoerbestand	OverloopEnGolfverslag.txt
Regio	[Selecteer regio, zie Paragraaf 5.1.6]
Faalmechanisme	Golfverslag
AutoKappa	NEE
Kappa	50
Afhankelijkheid	Waarnemingen
SelectieWaarnemingen	Hoogste waterstand

Uit de resultatenfile dienen voor de locaties gelegen bij de projectlocatie de volgende kolommen te worden gebruikt voor het ontwerp:

MHW:	NPWI
Waterstand (golfoverslag):	WIn
Significante golfhoogte ( $H_{m0}$ ):	Hsn
Gemiddelde golfperiode ( $T_{m-1,0}$ ):	$T_{m1,0n}$
Gemiddelde golfrichting ( $\theta_m$ ):	Thn
Piekgolfperiode ( $T_p$ ):	Tpn

### 3 Controleer resultaten

Controleer de resultaten op golfsteilheid, verhouding waterdiepte/golfhoogte en ruimtelijke consistentie, zoals beschreven in Paragraaf 4.4.

### 4 Corrigeer resultaten

Corrigeer de resulterende waterstanden, golfhoogtes en –periodes met de robuustheidstoeslag voor het watersysteem waarin het ontwerp zich bevindt (zie Tabel 4.1).

### 5 Eindresultaat

Gebruik de verkregen randvoorwaarden voor golfoverslag (dus niet het MHW, maar de waterstand en bijbehorende golfcondities voor golfoverslag) na correctie en controle om m.b.v. PC-Overslag het uiteindelijke overslagdebiet te berekenen en de grasbekleding in de olopzone, op de kruin en het binnentalud te beoordelen.

## 6.2 Meerdijken

### 1 Norm en zichtjaar

1.1 Bepaal de vigerende trajectnorm (zie Paragraaf 4.1.2) van de ontwerplocatie en vertaal deze naar een faalkanseis op doorsnedeniveau per faalmechanisme, rekening houdend met het lengte-effect en de faalkansruimtefactoren (zie Paragraaf 4.3).

1.2 Bepaal het zichtjaar van het project (zie Paragraaf 4.1.3).

### 2 Invoer berekening

2.1 Start Hydra Zoet versie 1.6.3 in Deltamodel modus (zie Paragraaf 5.2.1).

2.2 Voeg de betreffende ontwerpprofielen en bijbehorende oriëntaties van de dijknormalen (richting van de lijn haaks op de dijk, t.o.v. Noord) toe aan de beschouwde locaties (zie Paragraaf 5.2.6). Wanneer het ontwerpprofiel nog niet bekend is kan er gebruik worden gemaakt van een standaardprofiel met een 1:3 talud. Hierbij wordt wel sterk aangeraden om de golfoverslag berekeningen te herhalen wanneer het ontwerpprofiel bekend is.

2.3 Bepaal de meerpeilstijging in het zichtjaar en voer deze in (zie Paragraaf 5.2.4).

2.4 Voer de terugkeertijd in zoals bepaald in stap 1 (zie Paragraaf 5.2.3).

2.5 Voer zowel een 'Waterstand' (overloop) als een 'Hydraulisch belastingniveau - Golfoverslag' berekening uit (zie Paragraaf 5.2.7). Bij die laatste is het kritieke overslagdebiet voor de beoogde bekleding (meestal gras) een ontwerpkeuze.

### 3 Controleer resultaten

Controleer de resultaten op golfsteilheid, verhouding waterdiepte/ golfhoogte en ruimtelijke consistentie, zoals beschreven in Paragraaf 4.4.

- 4 Corrigeer resultaten  
Corrigeer de resulterende waterstanden, golfhoogtes en –periodes met de robuustheidstoeslag voor het watersysteem waarin het ontwerp zich bevindt (zie Tabel 4.1).
  
- 5 Eindresultaat  
Gebruik de verkregen randvoorwaarden voor golfoverslag (dus niet het MHW, maar de waterstand en bij behorende golfcondities voor golfoverslag) na correctie en bereken het uiteindelijke overslagdebiet m.b.v. PC-Overslag.





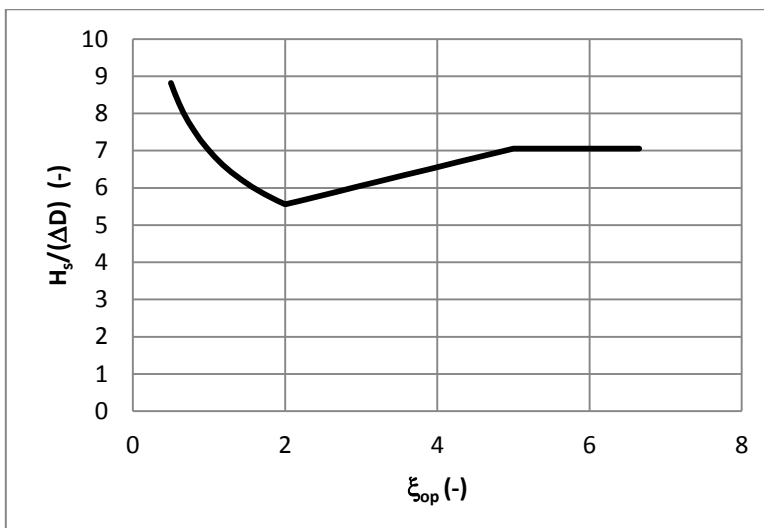
## 7 Stappenplan Bekledingen

Voor het dimensioneren van de bekleding van een waterkering zijn de extreme golfcondities bij verschillende waterstanden nodig, omdat op voorhand niet is te zeggen welke combinatie van waterstand en golfcondities maatgevend is. Doorgaans zijn grote golven meer bepalend voor het ontwerp dan een extreem hoge waterstand. In de beschikbare software voor het bepalen van de ontwerprandvoorwaarden wordt hiermee rekening gehouden.

### 7.1 Steenzettingen van het type zuilen

Bij de bepaling van de maatgevende golfcondities voor het dimensioneren van steenzettingen kan men tegen het probleem aanlopen dat voor het steenzettingstype 'zuilen' de stabiliteit van de steenzetting een minimum heeft als de brekerparameter in de buurt zit van  $\xi_{op} = \tan\alpha/\sqrt{(H_s/(1,56T_p^2))} \approx 2$ . Het verloop van de stabiliteit, uitgedrukt als  $H_s/(\Delta D)$  als functie van  $\xi_{op}$ , is voor een voorbeeld gegeven in Figuur 7.1.

Voor het dimensioneren van zuilen geldt daardoor dat een toenemende golfperiode eerst een afnemende stabiliteit geeft (zolang  $\xi_{op} < 2$ ), maar een toenemende stabiliteit geeft als  $\xi_{op} > 2$ . Helaas kan Hydra-K en Hydra-NL hier niet altijd goed mee overweg. Deze software doet een aanname voor ofwel  $\xi_{op} > 2$  of  $\xi_{op} < 2$  (zie Figuur 7.1). Wanneer deze aanname ongegrond blijkt te zijn (door de resulterende golfcondities) wordt er een waarschuwing gegeven. Voor meer details over wat te doen in dat soort situaties, zie Deltares (2011b).



Figuur 7.1 Voorbeeld van het verloop van de stabiliteit van een steenzetting van het type zuilen volgens Steentoets2014

In het rekenmodel dat gebruikt wordt voor het dimensioneren van steenzettingen, namelijk Steentoets, is dit probleem goeddeels opgelost met een work-around. Als  $\xi_{op} > 2$  wordt er in het programma tevens een berekening gemaakt met dezelfde golfhoogte, maar met een zodanig aangepaste golfperiode dat  $\xi_{op} = 2$ . Als de stabiliteit bij  $\xi_{op} = 2$  lager is dan bij de ingevoerde golfcondities, wordt die als maatgevend beschouwd. Er wordt dan in feite aangenomen dat als de golfperiode zo groot is dat  $\xi_{op} > 2$ , er ook stormen zullen voorkomen met dezelfde golfhoogte, maar met een kleinere golfperiode waarbij  $\xi_{op} = 2$ . Het programma geeft een melding als dit het geval is.

## 7.2 Ontwerppeil voor golfbelasting bekledingen

De golfbelasting op bekledingen wordt berekend gegeven een bepaald bereik aan waterstanden. De bovengrens van dit bereik wordt gevormd door het ontwerppeil, dat ook wordt gebruikt om te bepalen tot welke hoogte de bekleding moet reiken (merk op dat dit slechts invloed heeft op de aanleghoogte en niet op de dikte van de bekleding). Voor dit ontwerppeil dient de waterstand behorende bij het faalmechanisme golfoverslag (zie Hoofdstuk 6) te worden gebruikt (anders gezegd: de waterstand en golfcondities die horen bij het HBN). Bij de berekening van deze waterstand dient dan ook gebruik gemaakt te worden van de lengte-effectfactor en faalkansruimtefactor behorende bij golfoverslag (hetgeen tot een strengere faalkanseis leidt dan voor bekledingen).

De redenering achter het gebruik van de waterstand behorend bij golfoverslag is dat er niet een situatie mag ontstaan waarbij er bij een kruinhoogte van de waterkering gelijk aan het HBN wel wordt voldaan aan het mechanisme overslag, maar de kering onder die condities faalt op het mechanisme bekledingen omdat de bekleding niet ver genoeg doorloopt.

## 7.3 Golfbelasting voor waterstanden nabij ontwerppeil

Over het algemeen is er bij golfbelasting op bekledingen een trend zichtbaar waarbij hogere waterstanden leiden tot hogere golven, omdat waterstand en windsnelheid gecorreleerd zijn (bij een hoge waterstand wordt een hoge windsnelheid verwacht). Voor waterstanden die het ontwerppeil naderen wordt deze trend doorbroken en zou de belasting strikt genomen kleiner worden. Dit is contra-intuïtief, maar wordt veroorzaakt doordat de hoge waterstand (met een kleine kans van voorkomen) bijna alle beschikbare kansruimte in beslag neemt en er dus maar weinig kansruimte overblijft voor de windsnelheid. Om te zorgen dat deze daling in belasting bij een stijgende waterstand niet leidt tot een afname in golfcondities, worden deze golfcondities in Hydra-K indien nodig opgehoogd tot de golfcondities bij de piekbelasting. Een uitgebreide beschrijving en analyse van deze problematiek is te vinden in Deltares (2011b).

Dit leidt er toe dat de golfhoogte in de buurt van het ontwerppeil onafhankelijk is van de waterstand.

## 7.4 Golfbelasting bekledingen in de Oosterschelde

De golfbelasting op bekledingen wordt bepaald met de zogenaamde aangepaste Q-variant (Deltares, 2011b). Deze Q-variant is in Hydra-K geïmplementeerd voor alle gebieden behalve de Oosterschelde. Hierdoor dient de golfbelasting in de Oosterschelde als volgt berekend te worden met het programma WindWater:

- 1 Voer stappen 1 t/m 4 beschreven in Paragraaf 6.1 om de waterstand behorende bij golfoverslag te bemachtigen.
- 2 Voer deze waterstand in als 'maximale waterstand' in WindWater.

- 3 Voer een berekening uit voor de drie verschillende belastingfuncties ( $z_1$ ,  $z_2$  en  $z_3$ ) voor een relevant bereik aan waterstanden, met stappen van 0,5 m. Schakel hierbij de reductiefactor ten gevolge van de hoek van golfval,  $\gamma(\beta)$ , uit.
- 4 De resulterende waarden van de belastingfuncties worden per dijkvak gegroepeerd, en kunnen worden gebruikt voor het ontwerp van de steenbekleding.
- 5 Corrigeer de uiteindelijke golfhoogtes en -periodes met de robuustheidstoeslag voor de Oosterschelde (zie Tabel 4.1).

## 7.5 Zeedijken & Dammen

- 1 Norm en zichtjaar
  - 1.1 Bepaal de vigerende trajectnorm (zie Paragraaf 4.1.2) van de ontwerplocatie<sup>8</sup> en vertaal deze naar een maximaal toelaatbare faalkans (zie Paragraaf 4.3).
  - 1.2 Bepaal het zichtjaar van het project (zie Paragraaf 4.1.3).
- 2 Invoer berekening
  - 2.1 Gebruik Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties.
  - 2.2 Voeg de betreffende ontwerpprofielen en bijbehorende oriëntaties van de dijknormalen (richting van de lijn haaks op de dijk, t.o.v. Noord) voor de beschouwde locaties toe aan de database (zie Paragraaf 5.1.4).
  - 2.3 Pas de terugkeertijden in de database aan (zie Paragraaf 5.1.1), zodat deze overeenkomen met de faalkanseis zoals bepaald in stap 1. Zorg dat de invoer in 'BatchInputTemplate.txt' overeenkomt met Tabel 7.1. Let op: de regels in 'BatchInputTemplate.txt' die beginnen met een puntkomma (;) worden genegeerd!
  - 2.4 Run 'Hydra\_K\_Batch\_V3.6.5.exe', de resultaten worden opgeslagen in 'Bekledingen.txt'.

Tabel 7.1 Vereiste invoer in 'BatchInputTemplate.txt'.

Parameternaam	Waarde
ToetspeilCorrectie	NEE
ZeespiegelCorrectie	[Bepaal voor zichtjaar, zie Paragraaf 4.1.6]
Uitvoerbestand	Bekledingen.txt
Regio	[Selecteer regio, zie Paragraaf 5.1.6]
Faalmechanisme	instabiliteit bekleding
BekledingenWaterstandOndergrens	[Kies gelijk aan onderkant bekleding]
BekledingenWaterstandStapGrootte	0.5
BekledingenWaterstandBovengrens	[Kies gelijk aan toetspeil]
Type	[Selecteer het type bekleding]
AutoKappa	NEE
Kappa	50
Afhankelijkheid	Waarnemingen
SelectieWaarnemingen	Hoogste waterstand

<sup>8</sup> Let op! Wanneer de projectlocatie zich in de Oosterschelde bevindt dient het stappenplan in Paragraaf 7.4 aangehouden te worden.

Uit de resultatenfile dienen voor de locaties gelegen bij de projectlocatie de volgende kolommen te worden gebruikt voor het ontwerp:

Waterstand (bekledingen):	Wln
Significante golfhoogte ( $H_{m0}$ ):	Hsn
Gemiddelde golfperiode ( $T_{m-1,0}$ ):	Tm1,0n
Gemiddelde golfrichting ( $\theta_m$ ):	Thn
Piekgolfperiode ( $T_p$ ):	Tpn

Let op: per locatie wordt voor elke opgegeven waterstand een set golfcondities gegenereerd.

### 3 Controleer resultaten

Controleer de resultaten op golfsteilheid, verhouding waterdiepte/golfhoogte en ruimtelijke consistentie, zoals beschreven in Paragraaf 4.4.

### 4 Corrigeer resultaten

Corrigeer de resulterende golfhoogtes en –periodes met de robuustheidstoeslag voor het watersysteem waarin het ontwerp zich bevindt (zie Tabel 4.1). Let op: voor golfbelasting op bekledingen is er géén robuustheidstoeslag op de waterstand nodig!

### 5 Eindresultaat

De gecorrigeerde en gecontroleerde golfcondities per waterstand vormen het eindresultaat.

## 7.6 Meerdijken

### 1 Norm en zichtjaar

1.1 Bepaal de vigerende trajectnorm (zie Paragraaf 4.1.2) van de ontwerplocatie en vertaal deze naar een maximaal toelaatbare faalkans (zie Paragraaf 4.3).

1.2 Bepaal het zichtjaar van het project (zie Paragraaf 4.1.3).

### 2 Invoer berekening

2.1 Start Hydra Zoet versie 1.6.3 in Deltamodel modus (zie Paragraaf 5.2.1).

2.2 Voeg de betreffende ontwerpprofielen en bijbehorende oriëntaties van de dijknormalen (richting van de lijn haaks op de dijk, t.o.v. Noord) toe aan de beschouwde locaties (zie Paragraaf 5.2.6). Wanneer het ontwerpprofiel nog niet bekend is kan er gebruik worden gemaakt van een standaardprofiel met een 1:3 talud.

2.3 Bepaal de meerpeilstijging in het zichtjaar en voer deze in (zie Paragraaf 5.2.4).

2.4 Voer de terugkeertijd in zoals bepaald in stap 1 (zie Paragraaf 5.2.3).

2.5 Voer een 'Golfcondities bekledingen' berekening uit (zie Paragraaf 5.2.7). Selecteer het juiste type bekleding en kies als 'laagste waterstand' de onderkant van de bekleding. Voer als 'hoogste waterstand' het ontwerppeil in en als stapgrootte 0,5 m.

### 3 Controleer resultaten

Controleer de resultaten op golfsteilheid, verhouding waterdiepte/ golfhoogte en ruimtelijke consistentie, zoals beschreven in Paragraaf 4.4.

- 4 Corrigeer resultaten  
Corrigeer de resulterende golfhoogtes en -periodes met de robuustheidstoeslag voor het watersysteem waarin het ontwerp zich bevindt (zie Tabel 4.1). Let op: voor golfbelasting op bekledingen is er géén robuustheidstoeslag op de waterstand nodig!
- 5 Eindresultaat  
De gecorrigeerde en gecontroleerde golfcondities per waterstand vormen het eindresultaat.



## 8 Stappenplan overige faalmechanismes

Voor de overige faalmechanismes is alleen de waterstand van groot belang en zijn de golfcondities niet relevant. Omdat al deze faalmechanismes met dezelfde faalkanseis te maken hebben (alleen de vertaling van trajectnorm naar maximaal toelaatbare faalkans), hoeft er slechts één waterstandsberekening plaats te vinden.

### 8.1 Zeedijken & Dammen

#### 1 Norm en zichtjaar

- 1.1 Bepaal de vigerende trajectnorm (zie Paragraaf 4.1.2) van de ontwerplocatie en vertaal deze naar een faalkanseis op doorsnedeniveau per faalmechanisme (zie Paragraaf 4.3).
- 1.2 Bepaal het zichtjaar van het project (zie Paragraaf 4.1.3).

#### 2 Invoer berekening

- 2.1 Gebruik Hydra-K versie 3.6.5 Extra Opties.
- 2.2 Voeg de betreffende ontwerpprofielen en bijbehorende oriëntaties van de dijknormalen (richting van de lijn haaks op de dijk, t.o.v. Noord) voor de beschouwde locaties toe aan de database (zie Paragraaf 5.1.4).
- 2.3 Pas de terugkeertijden in de database aan (zie Paragraaf 5.1.1), zodat deze overeenkomen met de faalkanseis zoals bepaald in stap 1. Zorg dat de invoer in 'BatchInputTemplate.txt' overeenkomt met Tabel 8.1. Let op: de regels in 'BatchInputTemplate.txt' die beginnen met een puntkomma (;) worden genegeerd!
- 2.4 Run 'Hydra\_K\_Batch\_V3.6.5.exe', de resultaten worden opgeslagen in 'OverigeFaalmechanismes.txt'.

Tabel 8.1 Vereiste invoer in 'BatchInputTemplate.txt'.

Parameternaam	Waarde
ToetspeilCorrectie	NEE
ZeespiegelCorrectie	[Bepaal voor zichtjaar, zie Paragraaf 4.1.6]
Uitvoerbestand	OverigeFaalmechanismes.txt
Regio	[Selecteer regio, zie Paragraaf 5.1.6]
Faalmechanisme	Golfoverslag
AutoKappa	NEE
Kappa	50
Afhankelijkheid	Waarnemingen
SelectieWaarnemingen	Hoogste waterstand

Uit de resultatenfile dienen voor de locaties gelegen bij de projectlocatie de volgende kolommen te worden gebruikt voor het ontwerp:

Waterstand: NPWI

#### 3 Controleer resultaten

Controleer de resultaten op ruimtelijke consistentie, zoals beschreven in Paragraaf 4.4.

#### 4 Corrigeer resultaten

Corrigeer de resulterende waterstand met de robuustheidstoeslag voor het watersysteem waarin het ontwerp zich bevindt (zie Tabel 4.1).

## 5 Eindresultaat

De gecorrigeerde en gecontroleerde waterstand vormt het eindresultaat.

## 8.2 Meerdijken

### 1 Norm en zichtjaar

1.1 Bepaal de vigerende trajectnorm (zie Paragraaf 4.1.2) van de ontwerplocatie en vertaal deze naar een faalkanseis op doorsnedeniveau per faalmechanisme (zie Paragraaf 4.3).

1.2 Bepaal het zichtjaar van het project (zie Paragraaf 4.1.3).

### 2 Invoer berekening

2.1 Start Hydra Zoet versie 1.6.3 in Deltamodel modus (zie Paragraaf 5.2.1).

2.2 Voeg de betreffende ontwerpprofielen en bijbehorende oriëntaties van de dijknormalen (richting van de lijn haaks op de dijk, t.o.v. Noord) toe aan de beschouwde locaties (zie Paragraaf 5.2.6). Wanneer het ontwerpprofiel nog niet bekend is kan er gebruik worden gemaakt van een standaardprofiel met een 1:3 talud.

2.3 Bepaal de meerpeilstijging in het zichtjaar en voer deze in (zie Paragraaf 5.2.4).

2.4 Voer de terugkeertijd in zoals bepaald in stap 1 (zie Paragraaf 5.2.3).

2.5 Voer een 'Waterstand' berekening uit (zie Paragraaf 5.2.7).

### 3 Controleer resultaten

Controleer de resultaten op ruimtelijke consistentie, zoals beschreven in Paragraaf 4.4.3.

### 4 Corrigeer resultaten

Corrigeer de resulterende waterstand met de robuustheidstoeslag voor het watersysteem waarin het ontwerp zich bevindt (zie Tabel 4.1).

### 5 Eindresultaat

De gecorrigeerde en gecontroleerde waterstand vormt het eindresultaat.



## Referenties

Deltares, 2015. Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden – ten behoeve van HWBP 2015 projecten. Rapport 1210420-000-HYE-0007. Nog in voorbereiding.

Deltares, 2014a. Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden – ten behoeve van HWBP 2014 projecten. Rapport 1208992-000-HYE-0008

Deltares, 2014b. WTI/RTO Package: DaF-module – Dam and Foreshore module, Hydra-Ring Functional Design. Rapport 1209433-001, versie 4.00. Nog in voorbereiding.

Deltares, 2013. Toekomstige veiligheidsopgave voor harde keringen in het Waddengebied. Rapport 1206239-000-ZKS-0009

Deltares, 2012. Maximale significante golfhoogte op ondiep water en maximale golfsteilheid. Rapport 1204727-004-HYE-0001

Deltares, 2011a. Synthesis of SBW Belastingen (Engels). Rapport 1202120-006-HYE-0002

Deltares, 2011b. Aangepaste Q-variant binnen Hydra-K – Verloop golfcondities, belastingfuncties en externe testronde. Rapport 1204143-002-HYE-0029

HKV, 2012a. Hydra-K versie 3.6.5 Gebruikershandleiding Productieversie WTI-2011. PR1564

HKV, 2012b. Hydra-Zoet Gebruikershandleiding – versie 1.6. PR1564

HKV, 2012c. Hydra-Zoet Handleiding geavanceerde gebruikers – versie 1.6. PR1564

HKV, 2012d. Mogelijke Deltascenario's voor Hydra-Zoet: per scenario bepalen van statistische invoerfiles en berekenen van waterstanden. PR2447.10

Kieftenburg, A.T.M.M., 2015. Handboek Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden dijken en dammen – wegwijzer door leidraden en HR.

KNMI, 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01

Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken, 2014. Nationaal Waterplan 2016 – 2021 (NWP 2016 – 2021).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007a. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007b. Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen (HR2006).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat & ENW, 2009. Addendum I bij de Leidraad Zee- en Meerdijken – t.b.v. het ontwerpen van meerdijken.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat & ENW, 2007. Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied.

RIKZ, 2004. Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebied – een gedetailleerde methode voor het bepalen van golfbelastingen voor het toetsen van waterkeringen.

Royal Haskoning, 2008. Prognose van Schor en slikontwikkelingen in de Oosterschelde. Rapport 9T4814.B0, 08-09-2008

RWS WVL, 2015. Persoonlijke communicatie (email) met Ilka Tanczos, Robert Slomp en Harry Stefess, 19-02-2015.

RWS WVL, Deltares & projectbureau VNK2, 2013a. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen.

RWS WVL, Deltares & projectbureau VNK2, 2013b. Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014.

Svasek Hydraulics & Royal Haskoning, 2011. Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen. Delen 1A, 1B, 2 en 3. (zie ook: [zeeweringenwiki.nl](http://zeeweringenwiki.nl))

TAW, 1999a. Leidraad Zee- en Meerdijken – Basisrapport.

TAW, 1999b. Leidraad Zee- en Meerdijken.

## A Bijlage A: Lengte-effect factoren Golfoverslag



Figuur A.1 Kaart met lengte-effect factoren (N-waarden) voor golfoverslag, uit RWS WVL, Deltares & projectbureau VNK2 (2013a).



## B Bijlage B: Hydra-K regio's

In deze bijlage worden de Hydra-K uitvoerpunten per regio op een satellietfoto weergegeven.

### B.1 Westerschelde



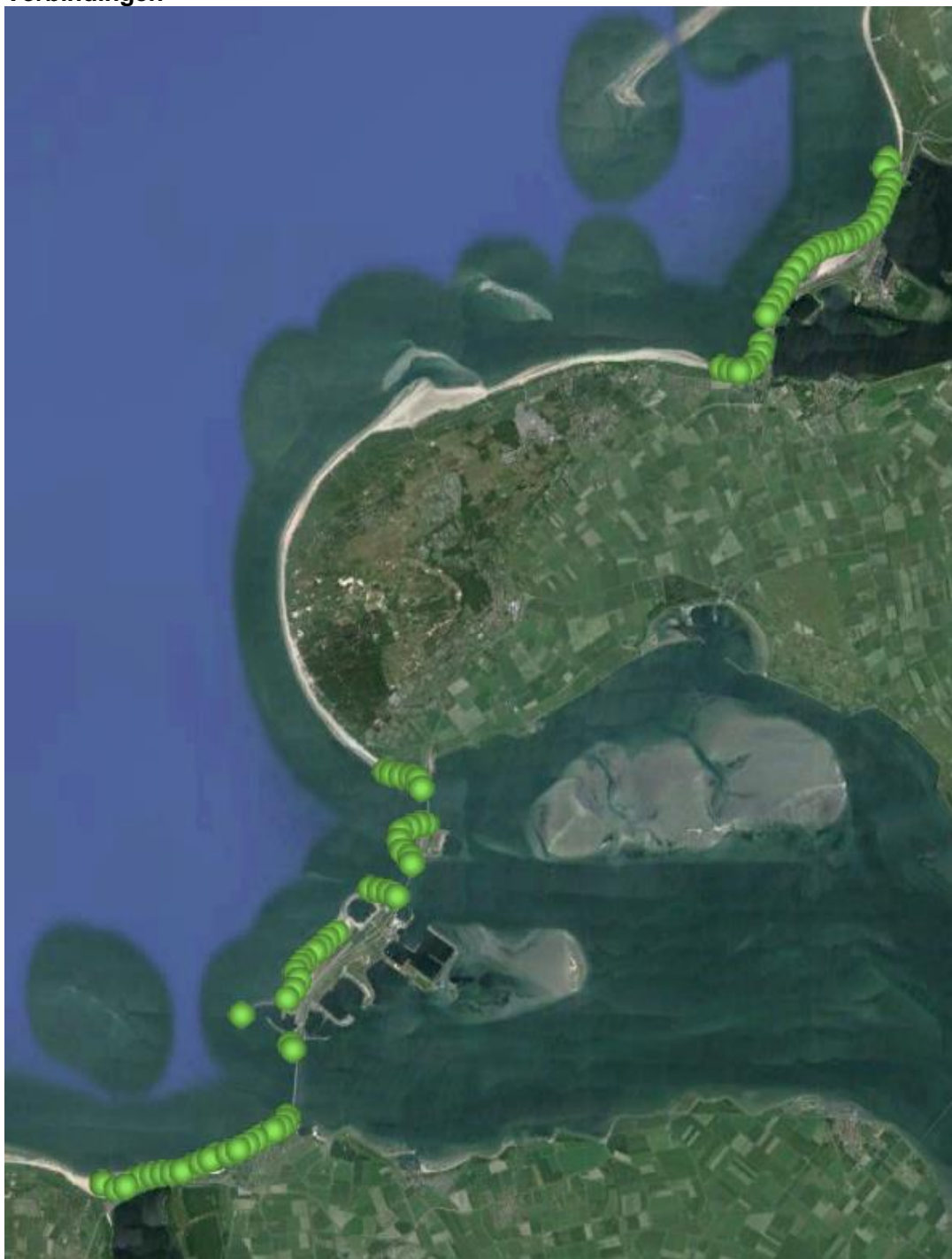
*Figuur B.1 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Westerschelde.*

## B.2 Oosterschelde



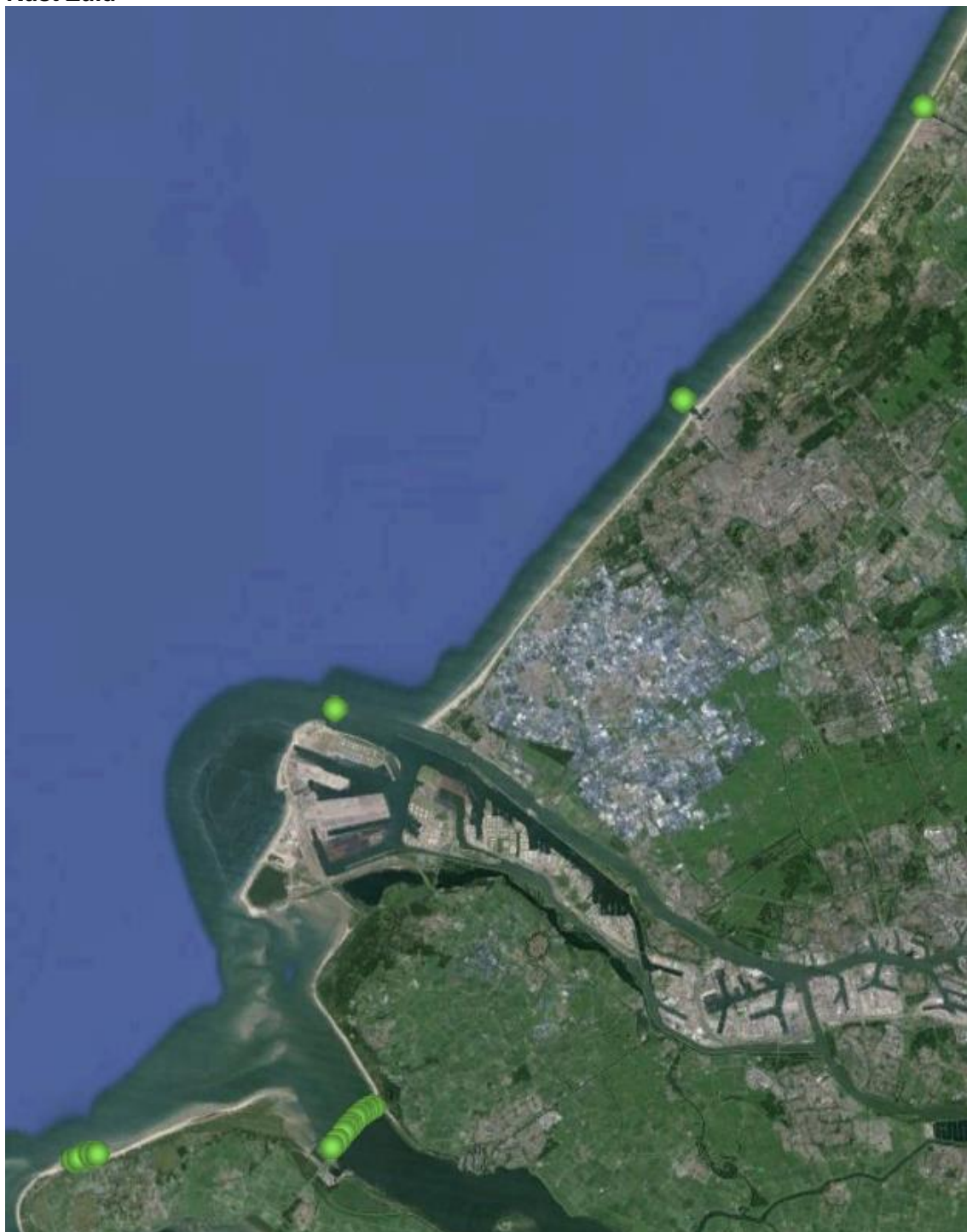
*Figuur B.2 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Oosterschelde.*

### B.3 Verbindingen



*Figuur B.3 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Verbindingen.*

## B.4 Kust Zuid



Figuur B.4 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Kust Zuid.



## B.5 Kust Midden



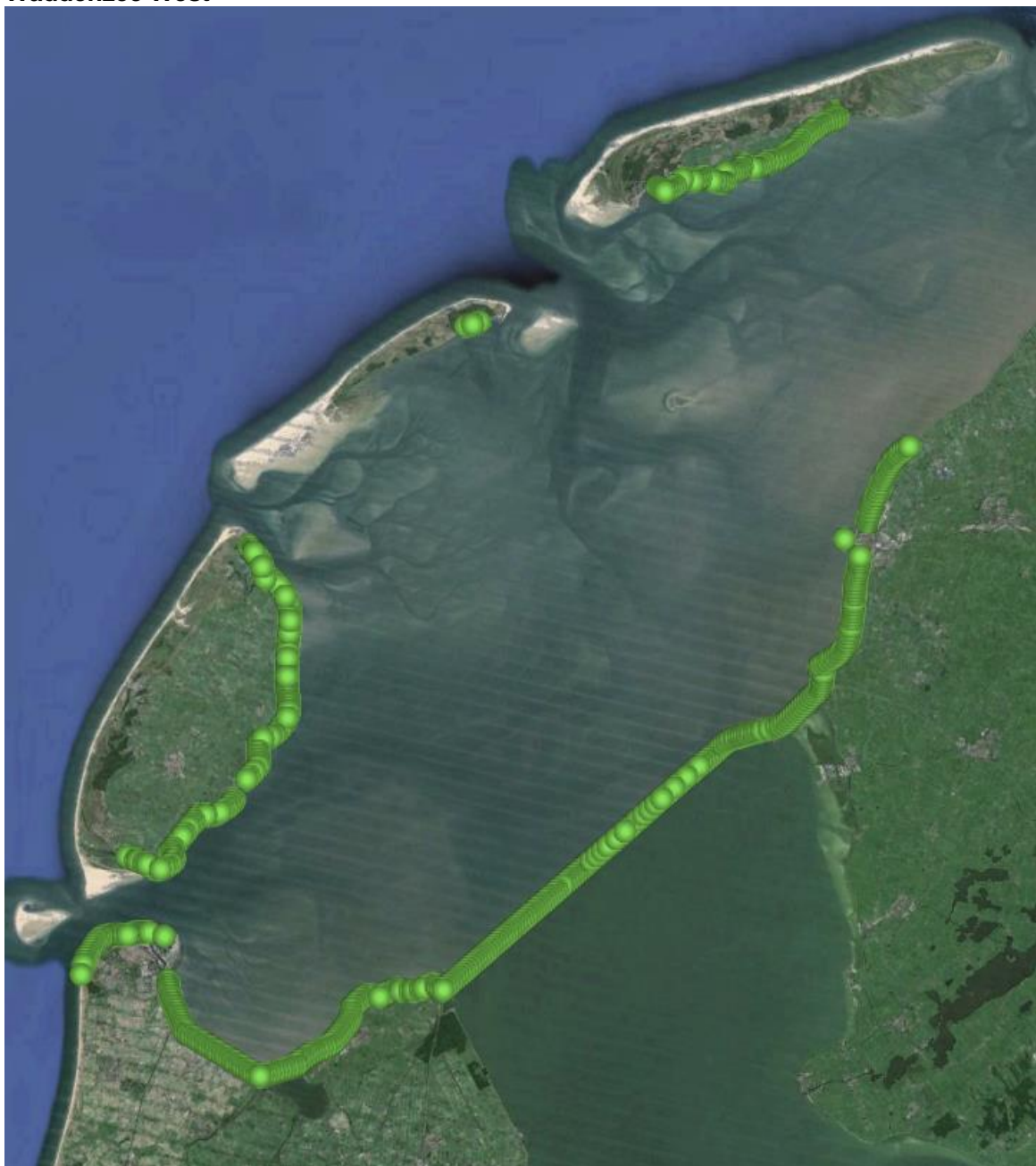
*Figuur B.5 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Kust Midden.*

## B.6 Kust Noord



*Figuur B.6 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Kust Noord.*

## B.7 Waddenzee West



*Figuur B.7 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Waddenzee West (de punten langs de Afsluitdijk liggen dus aan de Waddenzeezijde).*

## B.8 Waddenzee Oost



Figuur B.8 Hydra-K uitvoerpunten voor de regio Waddenzee Oost.

## **C Bijlage C: Achtergronden**

# **Handboek Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden- dijken en dammen**

wegwijzer door Leidraden, OI en HR-dataset

Annette Kieftenburg



## Titel

Handboek Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden- dijken en dammen

**Opdrachtgever**  
RWS-PBZ

**Pagina's**  
131

## Trefwoorden

Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden, Ontwerpscenario, Robuustheidstoeslag

## Samenvatting

Dit handboek biedt een methodiek om de hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor dammen en dijken zoals die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat op een uniforme, herleidbare en reproduceerbare wijze af te leiden. Daarnaast zijn er vergelijkbare producten voor kunstwerken zoals schutsluizen en stuwen opgesteld. In dit handboek wordt hierop aangesloten.

Het handboek is opgebouwd uit twee delen. Het eerste generieke deel schetst het kader en beschrijven de achtergronden van hydraulische belastingen die nodig zijn bij het ontwerpen van de keringen. Het tweede deel omvat een structuur om systematisch tot een herleidbare set van hydraulische ontwerprandvoorwaarden te komen. Deze structuur omvat een stappenplan met acht stappen.


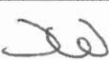
Het handboek is opgesteld voor Rijkswaterstaat (RWS). Opdrachtnemers van Rijkswaterstaat kunnen het handboek benutten voor het opstellen van hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Rijkswaterstaat kan het handboek zelf gebruiken om de opgestelde ontwerprandvoorwaarden te reviewen.

Het handboek is tot stand gekomen op basis van bestaande literatuur. De behoefte aan een wegwijzer door de bestaande leidraden voor ontwerpen is getoetst middels workshops.

In dit handboek is de kennis van dit moment vastgelegd en aangegeven waar deze te vinden is. Daarmee is een eerste stap gezet om het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden te structureren en uniformeren voor alle watersystemen. Aanbevolen wordt om dit document in de toekomst verder aan te scherpen en uit te breiden op basis van praktijkbevindingen.

## Referenties

Type hier de referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.7.9	Mei 2015	Annette Kieftenburg		Ida de Groot-Wallast			
1.8.0	Juli 2015	Annette Kieftenburg		Ida de Groot-Wallast			
1.9.0	Sept. 2015	Annette Kieftenburg		Ida de Groot-Wallast			

## Status

definitief





## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Doel	1
1.2 Totstandkoming	1
1.3 Afbakening	2
<b>2 Wegwijzer</b>	<b>3</b>
<b>3 Deel 1: Systembeschrijving - Een voorstel voor een nieuwe consistente basis</b>	<b>5</b>
3.1 Ordening van het watersysteem	5
3.2 Bronnen van belasting	5
3.2.1 De bronnen benoemd	5
3.2.2 Inleiding in de verschillende effecten van de bronnen	6
3.3 Indeling in watersystemen	8
<b>4 Belastingen en resulterende belastingen</b>	<b>15</b>
4.1 Waterstand	15
4.1.1 Afvoer	15
4.1.2 Lokale neerslag	15
4.1.3 Zeespiegel	15
4.1.4 Meerpeil	15
4.1.5 Zeespiegel	15
4.1.6 Getij	15
4.1.7 Opstuwning en stormopzet	16
4.1.8 Verdamping	16
4.1.9 Andere invloeden op de waterstand	16
4.2 Golfbelasting	18
4.2.1 Windgolven	18
4.2.2 Deining	19
4.2.3 Scheepsgolven	19
4.2.4 Andere invloeden op golven	19
4.3 Andere belastingen	19
4.3.1 Waterstandsverloop	19
4.3.2 Stormduur	19
4.3.3 Stroming	20
4.3.4 IJs	20
4.4 Resulterende belastingen	20
4.4.1 Waterstand	20
4.4.2 Golven	21
4.4.3 Bodem	21
4.4.4 Andere belastingen	22
4.4.5 Beleidsinvloed op waterstanden	23
<b>5 Van operationele condities tot normcondities</b>	<b>25</b>
5.1 Toetsen, ontwerpen en normcondities	25
5.2 Maatgevende omstandigheden en statistiek	26
5.3 Inzet rekenmodellen voor de belasting	27

5.4	Maatgevende aansturingsvariabelen	28
5.4.1	Toe te passen modellen	28
5.4.2	Correlatie aansturingsturingsvariabelen	29
5.4.3	Uitvoerlocaties	29
5.4.4	Maatgevende waterstand	29
5.4.5	Beleidsinvloed	30
5.4.6	Golfbelasting	31
5.4.7	Andere belastingen	32
<b>6</b>	<b>Robuustheid</b>	<b>35</b>
6.1	Inleiding	35
6.2	Robuustheid en de relatie tot onzekerheden	35
6.3	Statistische, inherente en modelonzekerheden in relatie tot beleidonzekerheden	36
6.4	Grootte van de modelonzekerheid	38
6.5	Beleidsonzekerheden	38
6.5.1	Klimaatscenario's en zeespiegelstijging	39
6.5.2	Ingrepen door menselijke handelen	41
6.6	Definitie van opslagen versus toeslagen	44
6.6.1	Hoogte van de fysische opslagen	44
6.6.2	Diverse andere gevonden toeslagen en aanwijzingen	45
6.7	Samengevat	45
6.8	Stand van zaken d.d. 2015	46
<b>7</b>	<b>Relatie belastingen met faalmechanismen</b>	<b>47</b>
7.1	Probleemschets	47
7.2	Resulterende belasting op keringen inclusief robuustheid en hun toepassing	47
7.3	Doorwerking in de faalmechanismen	49
7.3.1	Rol van toetsen in het ontwerpproces	56
7.3.2	Voorbeeld voor steenbekleding: betonzuilen	56
7.4	Scripts	63
7.5	Boekhouding toepassen van opslagen faalmechanismen	63
7.6	Boekhouding faalmechanismen: de faalkansbegroting	64
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>Deel 2: Bepaling waterstand en golfcondities - Stappenplan hydraulische ontwerprandvoorwaarden dammen en dijken</b>	<b>71</b>
9.1	Inleiding	71
9.2	Stappenplan	72
9.3	Voorbereidende werk met de opdrachtgever - <a href="#">Stap 0</a>	72
9.4	Beschrijven van het watersysteem <a href="#">Stap 1</a>	72
9.5	Bepalen functies en bijzonderheden dammen en dijken - <a href="#">Stap 2</a>	77
9.6	Bepalen locatie en afmeting <a href="#">Stap 3</a>	77
9.7	Bepalen en beschrijven van mogelijke situaties en scenario's- <a href="#">Stap 4</a>	78
9.7.1	Bepalen mogelijke situaties	78
9.7.2	Overzicht van eisen aan de te ontwerpen kering	82
9.7.3	Fases: vóór, tijdens en na de bouw	84
9.8	Van scenario's naar benodigde hydraulische ontwerprandvoorwaarden - <a href="#">Stap 5</a>	87
9.8.1	Parameters voor functies van de waterkering	87

9.8.2	Kwantificeren hydraulische ontwerprandvoorwaarden (Hoofdstuk 10- Hoofdstuk 11) – <a href="#">Stap 6</a>	90
9.9	Rapportage hydraulische ontwerprandvoorwaarden- <a href="#">Stap 7</a>	91
9.10	Vaststellen hydraulische ontwerprandvoorwaarden- <a href="#">Stap 8</a>	91
<b>10</b>	<b>Beschikbare gegevens <a href="#">Stap 6.1</a></b>	<b>93</b>
10.1	Inleiding	93
10.2	HR: Extremen en normcondities	93
10.2.1	Startpunt	93
10.2.2	Aandachtspunten bij de HR-dataset	94
10.3	Modellen en aansturing in de vigerende HR	96
10.4	Overige data	96
10.4.1	Startpunt	97
10.4.2	Check op meetgegevens	99
10.5	Overzicht beschikbare data	100
<b>11</b>	<b>Van data naar hydraulische ontwerprandvoorwaarde <a href="#">Stap 6.2</a></b>	<b>103</b>
11.1	Inleiding	103
11.2	Robuust ontwerpen	103
11.3	Van data naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden	104
11.4	Keuze ontwerpscenario (stap 6.2.1)	106
11.4.1	a. Planperiode, levensduur dijk of dam	106
11.4.2	b. Wettelijke normfrequentie	107
11.4.3	c. Bodem(ontwikkeling)	107
11.4.4	d. Klimaatscenario	108
11.4.5	e. Beleidsontwikkelingen	111
11.5	Vertalen naar gewenste locatie (stap 6.2.2)	111
11.6	Bepalen toeslagen (stap 6.2.3)	115
11.6.1	Definitie van toeslagen	116
11.6.2	Hoogte van de (robustheids) toeslagen	118
11.6.3	Hoogte van de fysische opslagen	120
<b>12</b>	<b>Rapportage hydraulische ontwerprandvoorwaarden- <a href="#">Stap 7</a></b>	<b>121</b>
12.1	Aanvullingen bij het voorbeeld uit Bijlage H	121
12.2	Stap 7b Eindcontrole	121
12.3	Oplevering en akkoordering - <a href="#">Stap 8</a>	122
<b>13</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>123</b>
	<b>Referenties</b>	<b>125</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Bijlage: Beknopte toelichting HR en HR-dataset</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Bijlage: Eigenschappen van de HR</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Bijlage: Achtergronddocumenten bij de HR2006</b>	<b>C-1</b>

<b>D Bijlage: Achtergronddocumenten bij de CR2011</b>	<b>D-1</b>
<b>E Bijlage: Enkele waarschuwings- en alarmeringspeilen voor van belang zijnde kunstwerken</b>	<b>E-1</b>
<b>F Bijlage: Memo aan ENW</b>	<b>F-1</b>
<b>G Bijlage: Belastingparameters in faalmechanismen</b>	<b>G-1</b>
<b>H Bijlage: Voorbeeld advies</b>	<b>H-1</b>
<b>I Bijlage: Periodematen, definities en toepassing</b>	<b>I-1</b>
<b>J Bijlage: Algemene aanwijzingen ten aanzien van het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden (Stappenplan in het kort)</b>	<b>J-1</b>
<b>K Bijlage: Extra: bij niet uitbreidbaarheid van de dam of dijk</b>	<b>K-5</b>
<b>L Bijlage: ontwikkelingen in ontwerpen en verwachte effecten van de nieuwe overstromingskansnormering</b>	<b>L-1</b>
<b>M Bijlage: Voorbeeld inhoudsopgave atlas</b>	<b>M-3</b>

## 1 Inleiding

Bij het ontwerp van dammen en dijken dienen hydraulische ontwerprandvoorwaarden te worden vastgesteld. Deze zijn, in tegenstelling tot de toetsrandvoorwaarden, niet wettelijk vastgesteld. Wel zijn er leidraden en richtlijnen die handvatten geven, gebaseerd op de toetsrandvoorwaarden. De werkwijze voor het bepalen van hydraulische ontwerprandvoorwaarden is hiermee echter (nog) niet gestandaardiseerd of gelijk voor de verschillende gebieden in het watersysteem.

Dit handboek biedt een wegwijzer door het bestaande bij nHWNP opgelegde instrumentarium (het nieuwe Ontwerpinstrumentarium, de OI2014 (Deltares, augustus 2014)) en/of vigerende leidraden (zoals deze zijn vastgesteld door de ENW). De filosofie achter het OI2014 verschilt van de ENW-leidraden in die zin dat het OI2014 anticipeert op de overgang naar de overstromingskansnorm, waar de ENW leidraden uitgaan van de overschrijdingskansnorm. Het OI2014 heeft als het gaat om de houdbaarheid van een ontwerp daarom de voorkeur.

Het doel van dit document is om deze hydraulische ontwerprandvoorwaarden op een reproduceerbare wijze vast te leggen en vast te kunnen stellen. Voor beide ontwerpmethoden zijn er verschillen maar ook veel overeenkomsten als het gaat om transparantie en reproduceerbaarheid. De focus van dit document ligt op dammen en dijken. De methodiek is uitgewerkt in een voorbeeld. Daarnaast zijn een vergelijkbare producten voor schutsluizen (Groot-Wallast, oktober 2013) en stuwen (Mheen & Groot-Wallast, december 2013) opgesteld.

### 1.1 Doel

Het doel van dit document is om een consistente aanpak voor ontwerpen van dammen en dijken te beschrijven middels een onderbouwd stappenplan, dat gebaseerd is op een goed begrip van de theoretische achtergronden.

Hierbij worden verschillende elementen die bepalend zijn voor de hydraulische ontwerprandvoorwaarden toegelicht, dan wel uitgewerkt. Denk aan:

- de achtergronden van de gebruikelijke terminologie,
- achtergrond van de toetsrandvoorwaarden,
- inzicht in de doorwerking van de belastingsparameters in faalmechanismen.

Op basis van het stappenplan en deze achtergronden kunnen onderbouwde keuzes worden gemaakt, dubbeltellingen worden voorkomen en kan eenduidig en herleidbaar worden gerapporteerd.

### 1.2 Totstandkoming

Dit handboek is tot stand gekomen door analyse van de huidige vigerende Leidraden, een aantal Technische Rapporten, de werkwijze van PBZ en de ervaringen vanuit het nieuwe Ontwerpinstrumentarium, (Deltares, augustus 2014).<sup>1</sup> Het geeft een voorstel voor een nieuwe opzet met wegwijzers door de bovengenoemde leidraden en het OI en een voorstel voor aanvullingen en verbeteringen. Gebruik van dit handboek in de praktijk moet leiden tot verdere aanscherping van de beschreven stappen.

---

<sup>1</sup> Hierbij wordt opgemerkt dat de huidige vigerende leidraden zullen worden uitgefaseerd en worden vervangen door een Ontwerpinstrumentarium waar het OI2014 een voorloper van is. Dit is noodzakelijk in verband met de overgang van overschrijdingskans naar overstromingskans rond 2017, bij de oplevering van de WT2017.

## 1.3 Afbakening

Dit handboek is geschreven voor dammen en dijken in beheer van Rijkswaterstaat voor alle gebieden buitendijks van de primaire A-waterkeringen inclusief de primaire waterkering (A en B) zelf, estuaria in meren, zeeën of estuaria. Daarbij is het voor de estuaria nodig om ook eigenschappen van rivieren te beschouwen zoals de hoogte van afvoeren. Daarom worden deze ook in meer of mindere mate beschouwd.

Voor waterkeringen baseert dit document zich zoveel mogelijk op het nieuwe OntwerpInstrumentarium, (Deltares, augustus 2014) *met een doorkijkje naar de verschillen* met de vigerende systematiek vanuit de Leidraden, Technische Rapporten en addenda voor de bepaling van (ontwerp)randvoorwaarden. Als uitgangspunt geldt hierbij dat een ontwerp moet voldoen aan en worden getoetst volgens de wettelijke normen en overschrijdingskansen, danwel overstromingskansen in de nabije toekomst. De systematiek gericht op bepaling van overstromingskansen van dijkringen is nog in ontwikkeling en is waar mogelijk in dit rapport betrokken. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er nog wijzigingen in het OI zullen plaatsvinden.

In dit handboek is de kennis van dit moment vastgelegd. Er is dus geen nieuw onderzoek uitgevoerd. Deze versie van het handboek is een eerste stap om het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden te structureren. In het handboek staat aangegeven waar aanvullingen nodig zijn.

## 2 Wegwijzer

In dit handboek wordt gewerkt van ‘algemeen’ naar ‘(locatie)specifiek’. Deel 1, Systembeschrijving bevat achtergronden van het watersysteem met de bijbehorende fysica. Aan de orde komen:

- bronnen van belasting (*wat is de oorsprong?*)
- indeling van het watersysteem (*waar ligt de te ontwerpen kering?*)
- resulterende belastingen (*welke bronnen en effecten moeten er worden meegenomen in de bepaling belastingen?*)
- doorvertaling naar maatgevende omstandigheden (*wanneer spelen welke belastingen en hoe werkt dat door op de kering?*)
- robuustheid (*waarvoor geldt de robuustheidstoets?*)
- en de connectie met faalmechanismen (*hoe werken de belastingen en de toeslagen door op de faalmechanismen en wat gebeurt er daarna nog mee?*)

Het is aan de gebruiker van dit handboek om de kenmerken van de ontwerplocatie op te zoeken middels een aantal tabellen.

In het tweede deel is een te volgen stappenplan uitgewerkt (hoe). Hierbij wordt locatie-specifiek ingegaan op hoe ontwerprandvoorwaarden kunnen worden afgeleid. In de bijlage H is dit nader uitgewerkt in een voorbeeld.

Informatie over de vigerende normen, achtergronden bij de set waaruit de HR/CR is afgeleid en andere zaken die van belang kunnen zijn, zijn te vinden in de diverse bijlagen in dit handboek. Ook wordt er in de bijlage een voorbeeld van de vastlegging van een ontwerpadvies voor 1 faalmechanisme gegeven, te weten die voor steenbekledingen, uit de praktijk van PBZ

Voor de andere faalmechanismen wordt verwezen naar het bij dit handboek horende document: (Bieman & Kieftenburg, 2015),

waarin nader wordt ingegaan op de afleiding van de ontwerprandvoorwaarden conform het OI2014, met medeneming van ‘lessons learned’ uit de praktijk van PBZ.

Het ontwerpen van een kering is een locatiespecifiek proces. Een kering is op een locatie afgekeurd in de toetsronde of er zijn maatregelen genomen die andere eisen aan de keringen stellen, of een verlegging van het dijktracé vereisen. De locatie is dus bekend, en daarmee de ligging in het watersysteem. De locatie waarvoor het ontwerp van de kering wordt gemaakt zal in het verdere document worden aangeduid met de term ‘ontwerplocatie’.





### 3 Deel 1: Systeembeschrijving - Een voorstel voor een nieuwe consistente basis

#### 3.1 Ordening van het watersysteem

Naar aanleiding van de analyse van de leidraden zijn er een aantal zaken geconstateerd. Op basis hiervan zijn aanbevelingen gedaan (zie Bijlage 13F). Hiernaast is ook het OI2014 geïntroduceerd, wat voor een aantal uitgangspunten ook weer leunt op de oude leidraden. Met de introductie van het OI2014 is weliswaar een begin gemaakt met het aansluiten op de toekomstige toetsing, maar zijn een aantal wezenlijke zaken nog niet gerealiseerd:

- Een consistente basis is gewenst: de belangrijkste is dat het begrip robuust ontwerpen een eenduidige invulling krijgt.
- Ook zijn verbeteringen van onjuistheden gewenst.

In dit hoofdstuk wordt een nieuwe basis uitgewerkt voor de ordening in het watersysteem.

Watersystemen worden van oudsher ingedeeld in zoet en zout. Steeds weer duikt deze tweedeling op: in diverse producten van RWS, zoals WTI, onderzoeken van SBW, etc. en ook in het OI2014. Voor de Ontwerpleidraden is er een aparte Leidraad Rivieren, en een Leidraad voor Zee- en Meerdijken. Voor de meren is er hier bovenop een addendum uitgebracht, die dus niet van toepassing is op de Zeedijken. Deze indeling is arbitrair en zegt echter weinig over het watersysteem. Het is immers niet het zoute of het zoete van het water dat verschil maakt in wat het meest bedreigend is voor waterkeringen of het achterland.

Door terug te gaan naar de oorsprong wordt een eenduidiger, begrijpelijke beschrijving te leveren van de watersystemen. Of eigenlijk het watersysteem. Want de bronnen voor belasting zijn voor alle gelijk. Hiermee verdwijnt de tweedeling in zoet en zout. De beschrijving van het watersysteem of onderdelen daarvan past daarmee ook in één leidraad, wat leidt tot een consistente aanpak, met eenduidige randvoorwaarden.

#### 3.2 Bronnen van belasting

##### 3.2.1 De bronnen benoemd

In een watersysteem zijn er diverse bronnen die invloed uitoefenen op het water en daarmee de **belasting** op een kering of kunstwerk bepalen. Ongeacht de ontwerplocatie in het watersysteem, zijn de bronnen in beginsel voor alle gelijk.

Deze bronnen zijn 1) de weersomstandigheden en 2) ligging van land en bodem in het watersysteem. En beide beïnvloeden elkaar daarbij ook. De bron kan lokaal van invloed zijn, maar kan ook juist ver buiten het gebied van interesse zijn oorsprong kennen.

##### **Weersomstandigheden**

Wind, neerslag en temperatuur, hebben alle dezelfde bron: ze zijn het gevolg van de weersomstandigheden. De eerste twee lijken het belangrijkste en zijn van oudsher meegenomen in de leidraden. N.B ook een gebrek aan neerslag kan bepalend zijn voor de sterkte van een kering (zoals de, overigens niet primaire, kering in Wilnis (Bruijn, 2004)).

**Belasting**  
Kracht op een kering of kunstwerk uitgeoefend door het belendende water, in welke vorm dan ook.

Temperatuur wordt met name van belang als het gaat over klimaatscenario's zoals bij de mate van zeespiegelstijging, en een verhoogde smeltwaterafvoer.

### **Ligging van het land en bodem**

Voor de grootte van de belasting in een locatie (X,Y) in het watersysteem zijn de ligging van land ten opzichte van het water, eventuele in de buurt liggende objecten, maar ook de lokale bodemgeometrie van groot belang. Er wordt dus onderscheid gemaakt in de volgende detailniveaus:

1. De plaats in het watersysteem
  2. De omgeving en
  3. Locatie-specifieke eigenschappen
- 1 De plaats in het watersysteem  
Ligging van het land met alle oneffenheden bepalen hoe de afwatering verloopt. Rivieren zijn daar van oudsher een zeer bepalend onderdeel van, evenals het zeeniveau. Hiernaast heeft ook de zee tijdens stormen mede bepaald hoe het land er uit is gaan zien. Tegenwoordig wordt de ligging vastgehouden middels dijken, dammen en kunstwerken, of wordt de invloed van het weer ermee verkleind. Daarnaast is deze ligging van land van invloed op de sterkte van de wind.
  - 2 De omgeving  
Voor de golfbelastingen van locatie (X,Y) zijn de ligging van objecten als dammen, kribben en nollen van belang. Geulen kunnen van belang zijn, en ook het gemiddelde waterniveau en de invloed van het getij is afhankelijk van de locatie.
  - 3 Locatie-specifieke bodemligging  
De ligging van de bodem van de waterloop of de zee is bepalend voor de mogelijke belasting van deze zelfde keringen of kunstwerken. Deze lokale bodem verandert met de tijd en is daarmee mede bepalend voor de belastingen bij de kering. Schorren en slikken of kwelders vlak voor locatie (X,Y) zijn van belang. De toestand op X,Y wordt beschreven met een hoogte-component Z.

### **Niet natuurlijke veranderingen**

Door direct menselijk handelen kunnen de ligging van land en bodem direct of indirect worden beïnvloed. De mens maakt kunstmatig land, maakt retentiegebieden, en baggert rivieren en stroompjes uit, verlegt of verbindt deze, maakt stormvloedkeringen. En ook scheepvaart heeft zo zijn weerslag op het natuurlijke systeem middels vaargeulen die worden onderhouden, sluizen e.d. en ook scheepsbewegingen.

*N.B. Indirecte beïnvloeding door de mens, op de weersomstandigheden, door het broeikas-effect wordt meegenomen in o.m. toename in de afvoer of zeespiegelstijging*

## 3.2.2 Inleiding in de verschillende effecten van de bronnen

### 3.2.2.1 *Temperatuur*

Temperatuur kan afsmelten van gletsjers bevorderen, en daarmee hogere rivierafvoeren veroorzaken. Ook zeespiegelstijging is een gevolg van de temperatuurstijging op aarde net zoals de verandering in neerslagpatronen dat is. Bovengenoemde zaken zijn beide 'niet lokale invloeden'.

Temperatuur heeft ook invloed op verdamping. Een hogere temperatuur zorgt voor meer verdamping, dus voor het verdwijnen van water uit het systeem. Voor grote gecontroleerd afgesloten systemen als Markermeer en IJsselmeer kan dit van belang zijn en de waterstand beïnvloeden.

### 3.2.2.2 Zeespiegel

De zeespiegel is de gemiddelde waterstand van de zee. Hier bovenop speelt het getij een rol. Het (astronomisch getij) is een verhoging of verlaging van de waterstand. Deze is zeer nauwkeurig te voorspellen en is afhankelijk van de plaats langs de Nederlandse kust en wordt gegeven o.m. via websites van (RWS, 2015) en wordt sinds ca. 1595 uitgegeven in de Enkhuizer almanak, en worden nu uitgegeven door de staatsdrukkerij (SDU).

De zeespiegel is ook van belang voor het natuurlijke meerpeil: met name voor de mogelijkheid voor het spuien van water onder vrij verval.

Verder op de rivieren is geen invloed meer terug te vinden van het weer op zee of de zeespiegel.

### 3.2.2.3 Wind

Boven zee waait het harder dan boven land. De ligging van het land ten opzichte van het water kan daarom bepalend zijn voor de windsnelheid bij waterovergangen. Wind zorgt voor opstuwing van water en voor windgolven. De hoogte hangt af van de lengte waarover de wind grip heeft gehad op het water, de strijklengte. Hoe dichterbij zee een locatie ligt, hoe meer correlatie van waterstand met de wind.

Het windklimaat van Nederland is door Rijkooft en Wieringa in 1983 vastgelegd (Wieringa & Rijkooft, 1983). De wind waarmee gerekend wordt voor de statistieken in de Hydraulische Randvoorwaarden (HR, zie Bijlage 13A, voor een beknopte uitleg van de HR) is de potentiële wind (Weibullverdeling). Deze is gebaseerd op de gemeten wind, waarbij rekening is gehouden met de lokale ruwheid rond het meetstation. Dit model van Rijkooft en Wieringa is gebaseerd op metingen van 12 meetstations over de periode van 1962 t/m 1976. De Weibullverdeling is geldig voor situaties met een wind van 15 m/s en hoger.

In het model zijn een aantal onvolkomenheden geconstateerd die vandaag de dag nog steeds onderwerp van studie zijn. Dit document van Rijkooft en Wieringa (Wieringa & Rijkooft, 1983) is desondanks doorgaans de referentie voor de toe te passen wind.

*N.B. De potentiële wind is lager dan de open-water-wind. Voor open-water-wind wordt uitgegaan dat die op 10 m boven het wateroppervlakte wordt afgeleid.*

Draaiende wind kan sterk bepalend zijn voor opstuwing van golven en waterstand, zoals in de Eems-Dollard, waar in de praktijk tijdens de storm van 1 november 2007 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, november 2007) en december 2013 (Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD, 19 maart 2014) er een extra verhoging van de waterstand plaatsvond doordat de wind draaide van west naar noord.

### 3.2.2.4 Neerslag en afvoer

Landinwaarts is neerslag sterk bepalend voor afvoer op de rivieren en de waterstanden op rivieren (middels de afvoergolf). Hiervoor moet het hele systeem worden beschouwd, van de plek waar de rivier ontspringt in de bergen tot aan de grens van Nederland. Wat voor Nederland van belang is, is hoeveel water er uiteindelijk de grens overkomt. Maatregelen voor retentie elders in het stroomgebied zullen een gunstig, verlagend effect hebben op de resulterende afvoer. Echter, omdat dit niet direct binnen het invloedsgebied van Nederland valt, kan hier geen (nationaal) beleid op worden gemaakt ten aanzien van (reductie van) de maximale afvoer.

Er is hiernaast nog een fysieke begrenzing van de afvoer. Dijken om de rivier zijn immers geen oneindig hoge muren die te allen tijde blijven functioneren.

De rivierwaterafvoer bij Lobith (Rijn) en Borgharen (Maas) is bepalend voor de ernst van het hoog-water in het Nederlandse rivierengebied. Rijkswaterstaat maakt tijdens een hoog-waterperiode voorspellingen van de afvoer en de bijbehorende waterstand voor die locaties en andere locaties langs de rivieren.

### 3.2.2.5 *Ligging water, land, bodem en ondergrond*

In Nederland is de ligging van het land ten opzichte van het water mede vormgegeven door stormvloed en overstromingen vanuit de rivieren. Inmiddels wordt het land waar mogelijk verdedigd tegen het water, hetgeen niet wegneemt dat er nog steeds een natuurlijke dynamiek speelt tussen land en water, of het nu zee, meer of rivier betreft. Van belang hierbij zijn de zeespiegel en de bodem en de bodemontwikkeling.

#### *Bodem en bodemontwikkeling*

Met de bodem wordt bedoeld: het totaal van de bodemgeometrie, inclusief zandbanken, voorland en voorliggende constructies. Het effect van de bodem is anders voor golven dan voor waterstanden en is gebiedsafankelijk. Waar waterstanden bij zee of in meren in mindere mate door bijvoorbeeld dammen of zandbanken worden beïnvloed, is dit voor golven van groot belang. Voorland, zandbanken en voorliggende constructies zijn direct sterk golfhoogte-reducerend of beperken de strijklengte tot de landzijde. Omgekeerd zijn golven weer van invloed op de bodemligging.

Voor rivieren ligt dit iets anders: een ruwere rivierbedding en/of uiterwaarde remt de afvoer sterker af en leidt dus tot hogere waterstanden dan een gladde rivierbedding. Kribben en duinen op de bodem van de rivier maken het zomerbed ruw. Obstakels zoals veerdammen en begroeiing maken de uiterwaarden ruw (zie ook (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 30)). Golven zijn hier van minder groot belang, omdat doorgaans strijklengtes niet al te groot zijn. In de delta kunnen deze bodemontwikkelingen ook voor een deel van belang zijn.

Hiernaast spelen de autonome bodemdaling, bodemdaling door gaswinning, klink door het verbranden van veen door aanpassingen in het polderpeil en bodemdaling (kruindaling, restzetting, kruip en klink) ter plaatse van de kering door het gewicht van de kering zelf (Leidraad Zee- en Meerdijken, december 1999), alle een rol.

### 3.2.2.6 *Niet natuurlijke veranderingen*

Diverse menselijke ingrepen zoals baggerwerkzaamheden en suppleties beïnvloeden de bodemontwikkelingsprocessen. Bijna alle zijn bedoeld voor het behoud van het land. Dat geldt ook voor het hele dijken- en dammensysteem.

Andere menselijke handelingen hebben ook invloed op de bodemligging in de omgeving, zoals, sluizen en scheepsbewegingen.

De mens beïnvloedt op deze manier bodemligging, invloed van wind en neerslag en daarmee zijn eigen veiligheid.

## 3.3 **Indeling in watersystemen**

#### *Nieuwe indeling watersysteem*

De indeling in zout en zoet wordt in dit handboek losgelaten. Wel wordt hierbij een andere indeling voorgesteld die bepaald wordt door de plaats in het watersysteem.

Afhankelijk van de plaats in het watersysteem kunnen de bronnen van de belasting een grotere of kleinere rol spelen. Welke een grotere rol speelt of zelfs domineert is op basis van de geografische ligging (land versus water) al redelijk goed aan te geven. Er wordt een opdeling gemaakt in de deelsystemen:

- Rivieren,
- Delta,
- Zee of Meer.

Hierbij zijn voor rivieren de neerslag en afvoer bepalend. Voor zee en meer zijn waterniveau en wind verantwoordelijk voor de dominante effecten. Met waterniveau wordt de zeespiegel, danwel het meerpeil bedoeld.

Het overgangsgebied daartussen is de Delta en wordt door alle genoemde effecten beïnvloed.

Hier is niet alleen de afvoer van Rijn, Maas, IJssel of Vecht van belang, maar ook de zeewaterstand danwel het meerpeil. Hier kunnen hoge waterstanden ontstaan door een hoge rivier-afvoer, een stormvloed of een combinatie van beide.

Welke effecten er dominant zijn, bepalen de belastingen.

De som van de belastingen bepaalt op haar beurt weer met welke faalmechanismen rekening moet worden gehouden.

#### *Oude versus nieuwe indeling*

In de onderstaande tabel staat aangegeven hoe de oude indeling zich verhoudt tot de nieuwe indeling.

#### **Definitie grens rivieren (=Bovenrivierengebied volgens Technisch Rapport Ontwerp Belastingen (TROB))**

1) Dit gebied wordt in de TROB gedefinieerd als het gebied waar stormvloed en wind niet meer dan 10 cm bijdragen aan de berekende waterstanden onder maatgevende omstandigheden (Lodder, 2003)

2) Maar ook geldt: in de praktijk wordt de overgang van een maatgevende waterstand met overschrijdingsfrequentie van 1/1250 naar 1/2000 als grens gehanteerd.

3) Met de nieuwe normering (die gaande is ten tijde van het schrijven van dit document) is deze laatste definitie niet meer te gebruiken. Maar ook de eerste definitie zal veranderen omdat de norm veranderd.

Tabel 3.1 Benaming nieuw versus oud

Rivieren	Bovenrivierengebied
Delta	Benedenrivierengebied, IJssel- en Vechtdelta; aan de meer- of zeezijde begrensd door een kering. = Haringvliet, Europoort, Ketelmeer, Vossemeer, Zwarte Meer
Meer	IJsselmeer, Markermeer
Zee	Noordzee, Waddenzee, Westerschelde, Oosterschelde <sup>2</sup>

Met deze nieuwe indeling is ook het verschil tussen Haringvliet, Oosterschelde, Markermeer, IJsselmeer en Ketelmeer aan het vervagen. Alle zijn min of meer afgesloten gebieden met een kering (met sluis) aan de zeezijde en sluizen aan de rivierzijde(n).

*N.B. Iets als een haven is niet aangemerkt als een apart watersysteem. Hier kunnen wel bijzondere verschijnselen optreden, maar primair is de ligging in het systeem (rivier, delta, meer of zee) bepalend voor welke belastingen er spelen.*

#### *Grenzen in het rivierengebied*

<sup>2</sup> De Oosterschelde is vooralsnog beschouwd als zee. Echter heeft het ook door de voorliggende kering een aantal eigenschappen die bij een meer horen. Zeker bij een dichte kering kan de Oosterschelde als meer worden beschouwd.

De locatie van de grenzen tussen Rivieren en Delta zijn overgenomen uit het Technisch Rapport Ontwerp Belastingen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007) (nabij p 16), namelijk de grens tussen beneden- en bovenriviereengebied.

*N.B. De definitie van de locatie van de grenzen van deelsysteem Rivieren<sup>3</sup> (zie kader) is niet eenduidig. De keuze van 10 cm is op zich al arbitrair. Ook is de grens afhankelijk van veranderende inzichten. Volgens de gegeven definitie zouden de grenzen moeten worden aangepast aan nieuwe inzichten.*

Hiermee zou de grens dus kunnen variëren in de tijd. Dit is niet transparant en maakt vergelijking van data uit het verleden lastig. Hier wordt daarom aangeraden de volgende grenzen uit de tabel aan te houden, en deze als vast te beschouwen. Deze komen grosso modo overeen met de

### **Grens Delta-rivier**

In de nabije toekomst zal de norm veranderen. Alleen als de invloed van het meer of de zee op de rivier verder of juist minder ver gaat reiken door veranderingen in het systeem zou de definitie moeten worden aangepast. Met de huidige definities verandert de definitie van de grens met de norm.

definities zoals in het kader. Mocht er in de praktijk hiermee een probleem voordoen, dan kan deze grens *dan* worden aangepast, en moet dan consistent worden doorgevoerd.

*N.B. De eigenaardigheid van het hanteren van grenzen tussen dijkkringgebieden is dat de grens op de linkeroever anders is dan op de rechteroever!*

*N.B. 2 Met de invoering van de nieuwe normering en de overgang van overschrijdings- naar overstromingskansen die afstapt van één norm voor een hele dijkkring kan de overgangsgrens nauwkeuriger worden aangegeven en kunnen de punten op de linker en rechteroever dichter bij elkaar komen te liggen. Meer over de impact van de nieuwe normering is te vinden in Bijlage 13L en Bijlage M.*

De grenzen van deelsysteem Rivieren markeren de bovenstroomse grens van de Delta. Aan de benedenstroomse zijde ligt de grens voor de Delta bij keringen, die onderdeel zijn van de primaire waterkeringen categorie B:

- Maeslantkering (VK8) begrenst in de Nieuwe Waterweg van de Noordzee als de kering gesloten wordt.
- De Hartelkering (VK9) begrenst in gesloten toestand de invloed van de Noordzee in het Hartelkanaal.
- De Stormvloedkering Hollandsche IJssel (VK10) ligt op het scheidingspunt van de Nieuwe Maas van de Hollandsche IJssel, en schermen deze van elkaar af indien gesloten.
- De Ramspolkering (VK25) ligt op het scheidingspunt van het Zwarte Meer van het Ketelmeer en schermt beide van elkaar af als deze wordt gesloten.
- Haringvlietdam (VK11) is een vast kering en begrenst het Haringvliet van de Noordzee

<sup>3</sup> In de Leidraden het bovenriviereengebied genoemd

Bovenstaande onderdelen hoorden bij wat in de WT12011 (Chbab, Augustus 2012) bekend is als het Benedenrivierengebied.

Tabel 3.2 Grens tussen 'rivieren' en 'delta' in het Rivierengebied

	Oever	km	Nabij	Dijkringgrens voor
Waal	rechts	955	Gorinchem	16 Alblasserwaard en Vijfheerenlanden 43: Betuwe/Tieler- en Culemborgerwaarden (west)
	links	951	Slot Loevestein	38- Bommelerwaard
Lek	rechts	949	Lekkanaal	44- Kromme Rijn 15- Lopiker en Krimpenerwaard
	links	943	Diefdijk	16 Alblasserwaard en Vijfheerenlanden 43: Betuw/Tieler- en Culemborgerwaarden (west)
IJssel	rechts	981	Spooldersluis	53- Salland
	links	972	Wapenveld	52-Oost veluwe
Maas	rechts	229	Andelse Maas	24 Land van Altena 37-Nederhemert NB: punt 229 komt in het HR boek niet voor!
	links	235	Afwateringskanaal(Waalwijk)	35- Donge 36-Land van Heusden/De Maaskant (west)

De Oosterschelde wordt anders dan het Haringvliet behandeld als 'Zee'. De Oosterscheldekering (VK18) is derhalve ook geen scheiding tussen de 'Delta' en 'zee', maar ligt in zijn geheel in 'zee'. Dit is opmerkelijk te noemen.

Hiernaast zijn er nog een aantal andere dammen of kunstwerken die twee wateren van elkaar scheiden. Dit kan een scheiding zijn tussen onderdelen van hetzelfde watersysteem zijn of tussen verschillende watersystemen die bij elkaar komen bij de dam of het kunstwerk.

- De Afsluitdijk (eigenlijk -dam) (VK1) scheidt de Waddenzee en het IJsselmeer
- De Houtribdijk (eigenlijk –dam)(VK4) het Markermeer van het IJsselmeer
- Roggebotsluis (VK3) begrenst het Vossemeer.

De overige Verbindende keringen zijn veelal (spui- of schut-) sluizen en scheiden diverse riviertakken van elkaar.



## Veranderende norm

In de onderstaande tabel, **Tabel 3.3**, met daarin genoemd de verbindende keringen staan nog de vigerende normgetallen volgens de overschrijdingsnorm.

Bij overgang naar de overstromingskansnorm zullen de normgetallen veranderen. Maar zelfs al zouden ze getalsmatig gelijk zijn, de filosofie erachter is anders. De voorlopige overstromingsnormgetallen zijn in de afgelopen jaren een aantal keren veranderd en kunnen dat in de nabije toekomst ook weer doen.

N.B. Het is daarom verstandig om bij aanvang van een ontwerptraject de laatste stand aangaande de overstromingsnormen op te vragen. Maar omdat deze nog veranderen is het niet mogelijk dit handboek, in dit stadium van de discussie precies aan te geven hoe de grens uit Tabel 3.2 en de norm uit **Tabel 3.3** voor de verbindende keringen er uit gaat zien

**Tabel 3.3** Verbindende keringen en enkele kenmerken

Verbindende kering	Nr	Verbindt	Met	Scheidt	van	Overschrijdingsnorm <sup>4</sup>	Opmerkingen	Locatie uitvoerpunt(en)
Afsluitdijk	1	Dkr 6	Dkr 12	Waddenzee	IJsselmeer	1/10000	Binnenzijde is geen Primaire Kering	
Kadoelersluis	2	Dkr 7	Dkr 9	Zwarte Meer Zwanendiep	Kadoelermeer	1/4000		38
Roggebotsluis	3	Dkr 8	Dkr 11	Vossemeer	Drontermeer	1/4000		F002
Houtribdijk	4	Dkr 8	Dkr 13	IJsselmeer	Markermeer	1/10000		
Nijkerkersluis	5	Dkr 8	Dkr 45	Nijkerkernauw	Nuldernauw	1/4000		Dp 4,8
Spooldersluis	6	Dkr 10	Dkr 53	IJssel/IJsselkanaal	Zwarte Water/IJsselkanaal	1/2000		981
Sluizen IJmuiden	7	Dkr 13	Dkr 14	Noordzee	Het IJ	1/10000	Onderdeel van dkr 44!	-
SVK Nieuwe waterweg en Europoort	8	Dkr 14	Dkr 19	Nieuwe Waterweg	Nieuwe Waterweg	1/10000	Ligt grotendeels op droge	1027
Europoort/Hartelkering	9	Dkr 20	Dkr 19	Hartelkanaal	Oude Maas	1/10000	Ligt grotendeels op droge	2
SVK Hollandsche	10	Dkr 14	Dkr	Nieuwe Maas	Hollandsche	1/4000		

<sup>4</sup> Let op! Dit zijn de vigerende normen (gebaseerd op overschrijdingskansen), en er wordt in WT12017 een overstap gemaakt naar nieuwe normen (gebaseerd op overstromingskansen). T.b.v. ontwerp is het van belang om de nieuwe normen te hanteren.

IJssel			15		IJssel			
Haringvlietdam	11	Dkr 20	Dkr 25	Noordzee	Haringvliet	1/4000		
BiesboschSluis	12	Dkr 23	Dkr 24	Nieuwe Merwede Boven Merwede	Steurgat	1/2000		962/963
Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis	13	Dkr 24	Dkr 38	Maas	Afgedamde Maas	1/2000		244
Brouwersdam	14	Dkr 25	Dkr 26	Noordzee	Grevelingen	1/4000		
Hellegatsdam en Volkerraksluizen	15	Dkr 25	Dkr 34	Haringvliet/ Hollandsch Diep	Volkerak	1/4000		
Grevelingendam	16	Dkr 25	Dkr 26	Grevelingen	Zijpe	1/4000		
Philipsdam	17	Dkr 25	Dkr 27	Zijpe	Krammer	1/4000		
SVK Oosterschelde	18	Dkr 26	Dkr 28	Noordzee	Oosterschelde	1/4000		
Oesterdam	19	Dkr 27	Dkr 31	Oosterschelde	Schelde Rijnverbinding	1/4000		
Veersedam	20	Dkr28	Dkr 29	Noordzee	Veerse meer	1/4000		
Zandkreekdam	21	Dkr 28	Dkr 30	Veerse Meer	Oosterschelde	1/4000		
Sluizen kanaal d Zuid-Beveland te Hansweert	22	Dkr 30	Dkr 31	Westerschelde	kanaal Zuid-Beveland	1/4000		Monding buitenhaven
Zeedijk Paviljoenpolder	23	Dkr 31	België	Westerschelde	Schelde Rijnkanaal	1/4000	Ligt op droge, grensweg	70a/70b
Heerewaardense afsluitdijk + Schutsluis St Andries	24	Dkr 38	Dkr 41	'Waal'/ Kanaal Sint Andries	'Maas' / Kanaal Sint Andries	1/2000		
Keersluis te Ramspol	25	Dkr 7	Dkr 10	Ketelmeer/ IJssel/ Kattendiep	Zwarte Meer / Ramsgeul	1/2000	Ligt deels op droge, geen HR getallen! N.B. Waar de keersluis ligt is niet te vinden	
Keersluis Heusdensch kanaal	26	Dkr 24	Dkr 37	Bergsche Maas	Heusdensch kanaal	1/2000		231/230
Bergse Maasdijk	27	Dkr 37	Dkr 38	Maas	Afgedamde Maas	1/2000		226/227

Voor meer informatie over de keringen: zie ook (RWS-CIV, 2015)

Bijzonderheden	Nr	Verbindt	Met	Scheidt	Van	opmerkingen	Locatie
Gemaal Zedemuden				Zwarte Water	Meppelerdiep	Capaciteit van 117 m <sup>3</sup> /s is rond 2010 verhoogd naar 124 m <sup>3</sup> /s	Bij de Meppelerdiep keersluis
IJsselmeer						Streefpeil winter = NAP -0,4m	

De belangrijkste waterkeringen in de Delta zijn:

- Gemaal Zedemuden bij Zwarte Water: vanwege het spuien
- Maeslantkering
- Oosterscheldekering
- Ramspolkering
- Hartelkering
- Stormvloedkering Hollandsche IJssel

Deze beïnvloeden de waterstand, en daar waar golven van belang zijn ( i.e. met name bij de Maeslantkering en de Oosterscheldekering) wordt ook de golfdoordringing geblokkeerd.

## 4 Belastingen en resulterende belastingen

In hoofdstuk 3 zijn de bronnen van belasting (weer en locatie) kort aangestipt. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe deze bronnen zich uiteindelijk kunnen manifesteren (effecten). De effecten van de bronnen kunnen direct lokaal optreden of verder weg in het watersysteem. Waar het uiteindelijk om gaat is de som van alle waar te nemen effecten op de locatie van interesse. Deze resulteren in een belastende waterstand, een golfbelasting en een belastingsduur, die samen de resulterende belasting op de kering representeren. Daarbij gaat het om een verloop als functie van de tijd tijdens een maatgevende gebeurtenis (hoogwater en/of storm).

### 4.1 Waterstand

De lokale waterstand is een optelling van veel factoren die afhankelijk van ligging in het watersysteem meer of minder van invloed zijn. Deze zijn in de volgende paragrafen benoemd. Al deze factoren maken deel uit van de gemeten waterstanden. Waterstandstatistieken zijn gebaseerd op deze metingen.

#### 4.1.1 Afvoer

Combinatie van smeltwater en neerslag alvorens deze aankomt in gebied van interesse. Dit is van belang voor rivieren, de delta, en het resulterende meerpeil in meren.

#### 4.1.2 Lokale neerslag

Lokale neerslag is doorgaans van minder belang voor alle watersystemen dan de afvoer. Voor de lokale waterstand in meren en op rivieren kan dit nog van invloed zijn.

#### 4.1.3 Zeespiegel

Met zeespiegel wordt bedoeld: een gemiddeld waterniveau zonder de effecten door weersinvloeden of getij. De zeespiegel is van invloed aan de zeezijde, maar werkt ook samen met het getij door in de delta. De zeespiegel is ook voor het meerpeil van belang i.v.m. een mogelijke beperking van spuimogelijkheden bij toename van de zeespiegel door klimaatverandering. Zie ook paragraaf 3.2.2.2.

#### 4.1.4 Meerpeil

Het meerpeil wordt bepaald door de aanvoer van rivieren en andere watersystemen waarmee een directe verbinding is en neerslag en de afvoer door spuien en verdamping. Een en ander is relatief eenvoudig te bepalen met de wet van massabehoud.

Zie ook paragraaf 3.2.2.2.

#### 4.1.5 Zeespiegel

De zeespiegel samen met het getij in relatie tot het meerpeil bepaalt of er wel of niet gespuid kan worden.

Deze verhoogde waterstand zorgt voor een langduriger belasting op de kering. Het waterstandsverloop van de stormopzet wordt geschematiseerd op basis van statistiek.

#### 4.1.6 Getij

Het getij is de periodieke verandering van het zeeniveau met een periode van ca. 12 uur. Met name springtij is van belang voor het belastingniveau. Het is van belang voor het waterniveau aan de zeezijde voor het deltagebied en is mede bepalend voor wanneer keringen worden gesloten. Voor meergebieden is het van belang voor de bepaling van de spuicapaciteit. De

werking van het getij is voor alle locaties langs de kust anders: zie de (SDU, wordt jaarlijks uitgegeven).

#### 4.1.7 Opstuwing en stormopzet

Opstuwing en stormopzet zijn beide gedefinieerd als de lokale waterstandsverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht, anders dan windgolven.. De stormopzet zal dus hoger zijn naarmate de stormduur langer is.

Opstuwing speelt met name in aan twee of meer zijden door land begrensde gebieden met een vernauwing in de windrichting of een bij beperkte diepte. Maar ook op bredere wateren, waar het water geen andere kant op kan dan richting het land, kan er een scheefstand in het water ontstaan door opstuwing door de wind.

De stormopzet Voor de delta bij Hoek van Holland wordt dit stormopzet genoemd, evenals bij de Oosterschelde. De opzet wordt via de waterstand verrekend.

*N.B. Met opstuwing en stormopzet worden expliciet geen seiches bedoeld. Deze zijn nl. geen gevolg van louter de wind, zijn een speciaal soort opstuwing die met name optreedt in smalle havenbekkens. Voor seiches wordt er een aparte toeslag berekend bij de HR en bij ontwerpen. Hierover meer in paragraaf 4.1.9.4.*

#### 4.1.8 Verdamping

Verdamping is doorgaans van minder belang maar moet voor de volledigheid wel worden meegenomen in geval van het meerpeil.

#### 4.1.9 Andere invloeden op de waterstand

##### 4.1.9.1 Sluiting stormvloedkeringen

Een stormvloedkering is een kering die onder normale omstandigheden open is, maar bij een dreigende storm kan worden afgesloten. Dit brengt een verandering van de waterstand met zich mee.

Een kering wordt gesloten op basis van: verwachte waterstanden, danwel overschrijding van de meting van het sluitpeil op een bepaalde locatie. (zie Bijlage 13E voor relaties tussen waarschuwings-, waarschuwings- en alarmeringspeil)

Tabel 4.1 Verbindende Waterkeringen: vorm, sluitingsregime en kerende hoogte

Verbindende kering	Nr	Vorm	Sluizen	Sluit bij (indien van toepassing)
Afsluitdijk	1	Vast	Ja	
Kadoelersluis	2			
Roggebotsluis	3	Vast met sluizen	Ja	Is normaal gesloten
Houtribdijk	4	Vast	Ja	
Nijkerkersluis	5		Ja	
Spoldersluis	6			
Sluizen IJmuiden	7	Vast met sluizen	Ja	Zuider en middensluis buiten bedrijf bij NAP + 2,0m bij Den Helder
SVK Nieuwe waterweg en Europoort; ook wel Maeslantkering genoemd	8	beweegbaar	Nee	NAP + 3 m bij Rotterdam of 2,9 m bij Dordrecht

Europoort/Hartelkering	9		ja	NAP + 3 m bij Rotterdam Rotterdam of 2,9 m bij Dordrecht; Sluiten Hartelsluis bij NAP + 3 m bij Rotterdam
SVK Hollandsche IJssel	10			Bij NAP+2,25 bij Krimpen aan de IJssel En in geval van hoge waterstanden op de Nieuwe Waterweg of Lek
Haringvlietdam	11	Vast	Ja	Sluiten keersluis bij NAP+ 1,4 m Dichtzetten afsluiters gemalen bij NAP + 2,0 m
BiesboschSluis	12			
Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis	13			
Brouwersdam	14	Vast	Ja	
Hellegatsdam en Volkerraksluizen	15			
Grevelingendam	16	Vast		
Philpsdam	17			
SVK Oosterschelde	18	afsluitbaar	Ja	3m waterstand Roompot buiten
Oesterdam	19			
Veersedam	20			
Zandkreekdam	21			
Sluizen kanaal d Zuid-Beveland te Hansweert	22			
Zeedijk Paviljoenpolder	23			
Heerewaardense afsluitdijk + Schutsluis St Andries	24			
Keersluis te Ramspol	25			NAP+ 0,5 m Locaal op gemeten waterstanden
Keersluis Heusdensch kanaal	26			
Bergse Maasdijk	27			

Het sluiten van een Stormvloedkering houdt de verhoging van een waterstand en het doordringen van golven vanaf de zee- of meerzijde tegen. Het belemmert alleen ook de afvoer van het rivierwater. Het is daarom van groot belang om niet te vroeg, maar ook niet te laat te sluiten. Immers vroeg sluiten houdt de zee buiten, maar zorgt voor een verhoging van de waterstand achter de kering. Omgekeerd zorgt een te laat sluiten van de kering juist weer voor een bedreiging van de zeezijde.

*N.B. Van belang voor de dijken en dammen achter en nabij deze kunstwerken is wanneer deze sluit evenals de kerende hoogte. Deze informatie is veelal lastig te achterhalen.*

#### 4.1.9.2 Andere keringen en kunstwerken

Ook andere keringen of kunstwerken zoals stuwen zullen bij een storm worden gesloten en kunnen zo de waterstand beïnvloeden. Dit kan een rivierwaterstand, een waterstand op een meer zijn, maar ook op zee. Zo is het Sperrwerk in de Ems in Duitsland van significant belang voor de waterstand op de Eems Dollard. Omdat het hier om een Duits kunstwerk gaat staat deze niet in de lijst hierboven. Het is immers niet een door RWS of een Nederlands waterschap te onderhouden kunstwerk.

#### 4.1.9.3 Bodem

Ook de bodemligging is van invloed: deze bepaalt met name de stroomsnelheid en daarmee dus de afvoercapaciteit en de verblijfsduur van het water in het systeem, en daarmee de waterstand. Maar ook de getijslag wordt beïnvloed door baggerwerkzaamheden (zie ook paragraaf 6.5.2).

#### 4.1.9.4 Buitstoten -oscillatie en seiches

Buistoten, bui-oscillaties en seiches zijn bijzondere soorten verschijnselen die het water langzamer dan golven, maar sneller dan (getij-)waterstanden, (tijdelijk) verhogen. Seiches treden in Nederland alleen op tijdens stormen, maar niet elke storm levert een seiche op. Dit hangt af van specifieke meteorologische omstandigheden zoals frontpassages of het optreden van grootschalige turbulente structuren (circulaire cellen waarneembaar in het wolkendek). Het is dus geen verschijnsel dat onder alle omstandigheden optreedt, maar onder deze gegeven omstandigheden wel tot een aanzienlijke waterstandsverhoging leidt en dus niet kan worden weggelaten.

Seiches veroorzaken een resonantie in de golven van een havenbekken, doordat de eigenfrequenties van de haven wordt aangeslagen. Voor seiches wordt er een aparte toeslag berekend bij de HR en bij ontwerpen.

*N.B. Seiches spelen een rol voor half open systemen zoals havenbekkens, maar ook op meren kunnen ze optreden. Ten tijde van het schrijven van dit handboek loopt er een verkenning naar potentieel seiche-gevoelige locaties in Nederland.*

*N.B.2 In WTI-2011 kader zijn er nieuwe berekeningen uitgevoerd om de bijdrage van seiches te kwantificeren. (Zie (Jong, 2004)). Ook in het kader van de WTI2017 is er een update uitgevoerd voor seiches in Rotterdam. Hierbij is onder meer de statistiek aangepast. (Reijmerink & Jong, 16 december 2014)*

#### 4.1.9.5 Andere waterstanden die van belang zijn

Voor een aantal faalmechanismes is niet waterstand aan de buitenkant van de kering van belang. Het gaat voor die mechanismen om verschillen in waterstand tussen de waterzijde en landzijde van de kering, het verval of om snelle veranderingen in de waterstand. Hierover meer in hoofdstuk 7.3.

## 4.2 Golfbelasting

### 4.2.1 Windgolven

Naast de maatgevende waterstand zijn in een aantal gebieden ook golven van groot belang voor de belasting op de keringen. Golven worden vaak beschreven door golfhoogte (hoe hoog is de golf) en de periode (hoe lang duurt het voor 1 golf voorbij trekt). Hoe hoog en hoe lang een windgolf is, heeft te maken met hoe lang de wind grip heeft gehad op de golven. Dit speelt met name voor gebieden waar de wind vrij spel heeft op het wateroppervlak, en strijklengtes lang (kunnen) zijn. Dit zijn zee, meren of andere brede wateren. Op rivieren zijn golven doorgaans van minder groot belang, tenzij de strijklengte heel lang is of kan zijn voor bepaalde windrichtingen.

Als golven nog groeien in hoogte en periode door wind, dan spreken we over niet volgroeide windgolven. Wat we waarnemen aan golven is niet 1 losse golf, maar feitelijk een optelling van vele golven. Het is dan ook niet eenvoudig om één waarde voor de golfhoogte en de golfperiode te bepalen. Er wordt gewerkt met een energiespectrum dat aangeeft hoeveel energie er bij een bepaalde frequentie hoort. Uit dit energiespectrum kan op verschillende manieren een representatieve golfperiode worden bepaald. Voor verschillende faalmechanismen worden verschillende periodematen gebruikt. Dit heeft te maken met welke golven het meest bijdragen aan de belasting voor de kering voor dat faalmechanisme. Concreet: nog niet volgroeide windgolven uiten zich in energie in het hoogfrequente deel van het golfspectrum tot ca. 1,5 a 2 Hz. Dit betreft dus de kortere golven. Lokale, volgroeide windgolven liggen tussen de 0,03 Hz en

1 Hz met een piek rond de 0,2 Hz. Dit zijn de langere golven. Meer informatie over golfperiodes en hun toepassing is te vinden in Bijlage I

#### 4.2.2 Deining

Deining zijn windgolven die verder weg of in een ander watersysteem zijn ontstaan en zich voegen bij de lokaal opgewekte golven. Dit uit zich in het energiespectrum door laag frequente golfenergie. Deining komt niet voor op rivieren en speelt doorgaans niet op meren. Uitzondering hierbij is een gebied als het Ketelmeer, waar golven van IJsselmeer onder de vernauwing bij de Ketelbrug doordringen. In de Concept Randvoorwaarden uit 2011 (CR2011) wordt hier rekening mee gehouden.

#### 4.2.3 Scheepsgolven

Scheepsgolven zijn golven, die worden opgewekt door schepen. Deze kunnen van belang zijn als een vaargeul dichtbij een kering ligt en de golven niet gedempt worden. Er zijn primaire, secundaire en tertiaire golven die schepen kunnen veroorzaken en zo een lokale verhoging van de golven tot gevolg kunnen hebben. Alle hebben een eigen kenmerk in het energiespectrum. De primaire golven hebben een relatief grote periode. Voor de secundaire en tertiaire golven ligt de periode in het bereik van de windgolven. Als er nog gevaren wordt bij extreme omstandigheden (hoogwater en/of storm), kan de invloed van scheepsgolven van betekenis zijn. Scheepsgolven zijn voornamelijk niet opgenomen in de toetsrandvoorwaarden (i.e. niet in de HR en ook niet in de HR-dataset) en worden vaak ook niet verdisconteerd in het ontwerp van dijken of dammen. In een aantal detailadviezen van Projectbureau Zeeweringen in havens zijn deze overigens wel meegenomen.

#### 4.2.4 Andere invloeden op golven

##### 4.2.4.1 *Waterdiepte*

De ligging van de bodem en de waterstand bepalen samen de waterdiepte. Deze is van grote invloed op de hoogte van de golven die kunnen ontstaan, en hoeveel golfenergie er wegbreekt op ondieptes van een bepaalde golflengte. Zowel golfhoogte als periode worden dus beïnvloed. *N.B. ook nollen en strekdammen zorgen voor ondiepten waarop golven breken en dus energie verliezen. Achter de strekdam of na de nol kan de golf weer groeien voor zover de strijklengte dat toelaat.*

##### 4.2.4.2 *Stroming*

Stroming kan golven beïnvloeden. Dit kan de getijstrooming, of een zekere afvoer of spuistroom betreffen. Zowel golfhoogte als periode kan worden beïnvloed.

### 4.3 Andere belastingen

#### 4.3.1 Waterstandsverloop

Het waterstandsverloop is een begrip dat voor rivieren en delta's het verloop van de waterstand in de tijd beschrijft. Het is mede bepalend voor de belastingduur op de diverse onderdelen van de waterkering. In de praktijk voor toetsen en ontwerpen wordt gewerkt met een op basis van statistieken geschematiseerde waterstandsverloop. Deze geeft schematisch weer hoe lang de afvoergolf zorgt voor een verhoogde waterstand.

#### 4.3.2 Stormduur

Stormduur is een begrip dat wordt toegepast bij gebieden onder invloed van de zee, zoals de kust en in delta's. De stormduur beschrijft hoe lang de storm zorgt voor een verhoogde waterstand, de stormopzet.



Deze verhoogde waterstand zorgt voor een langduriger belasting op de kering. Net als het waterstandsverloop wordt de stormduur geschematiseerd op basis van statistiek.

De stormduur is in gebieden waar golven een rol spelen ook van belang voor de ontwikkeling van golven. Immers als het langer waait zullen de golven hoger worden, tot het verzadigingspunt is bereikt.

#### 4.3.3 Stroming

Een stroming nabij een kering kan tot extra druk leiden op de kering. Deze beïnvloedt de golven, maar stroming kan ook juist veroorzaakt worden door golven. Ook kan stroming ontstaan of worden vergroot door afvoer of getij.

#### 4.3.4 IJs

In het verleden was ijs meer van belang voor de belasting van waterkeringen dan nu. In het verleden waren overstromingen nog wel eens een gevolg van het ontstaan van ijssdammen, met profielvernauwing tot gevolg in splitsingspunten, bochten etc. Ook werkt ijs ruwheidsverhogend. Alleen bij hoge afvoeren in combinatie met ijsbezetting is dit afvoerbelemmerend. Sinds het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw zijn er al geen ijsgerelateerde overstromingen meer geweest. IJs is wel een extra belasting op de keringen als het gaat kruien.

### 4.4 Resulterende belastingen

De resulterende belastingen op keringen moeten op een relatief simpele wijze worden gerepresenteerd om werkbaar te zijn voor ontwerpen. De waterstand en golven worden hierbij als representatief voor de belastingen op de keringen gezien. Zoals hierboven uitgewerkt worden deze op verschillende manieren opgebouwd en beïnvloed. Hieronder volgt een samenvatting voor de verschillende watersystemen.

#### 4.4.1 Waterstand

De waterstand is een van de belangrijkste grootheden om de belasting in uit te drukken. Het gaat dan om parameter  $h$  (m).

De waterstand is het resultaat van veel factoren, zoals in de vorige paragraaf beschreven. Per deelsysteem is de invloed van de factoren verschillend. Een en ander is samengevat in onderstaande tabel, Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Relatieve mate van invloed van verschillende factoren op de waterstand per deelsysteem (van geen, 0, naar veel, ++).

	Rivieren	Delta	Meer	Zee
Neerslag via afvoer	++	+	+	0
Neerslag lokaal	+	0	+/0	0
Zeespiegel	0	+	+	++
Meerpeil	0	+	++	0
Getij	0	+	+	++
Opstuwing/opzet door wind	+	+	+	+
Verdamping	0	0	+	0
Seiches/buistoten/slingeringen	0	++	+	0
Keringen	+	++	0	0

*N.B. Let op het verschil tussen waterstand en waterdiepte: waterstand is een veel globalere grootheid en beschrijft de hoogteligging van het wateroppervlak. Waterdiepte is een lokale(re) grootheid en wordt bepaald door de bodemdiepte af te trekken van de waterstand.*

Op de waterstand hebben de volgende variabelen invloed, zijn aansturend:

Bodem, weersomstandigheden (wind en neerslag, stormduur), maar met name ook niet natuurlijke ingrepen zoals stormvloedkeringen kunnen lokaal zeer bepalend zijn.

#### 4.4.2 Golven

Na de waterstand zijn golven de meest voorkomende grootheid om belasting op keringen in uit te drukken. Hiervoor worden parameters H voor de golfhoogte en T voor de golfperiode gebruikt. Deze worden vaak afgeleid uit het energie- frequentiespectrum.

Ook golven zijn het resultaat van veel factoren, zoals in de vorige paragraaf beschreven. Per deelsysteem is de invloed van de factoren verschillend. Een en ander is samengevat in onderstaande tabel, Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Relatieve mate van invloed van verschillende factoren op de golven per deelsysteem (van geen, 0, naar veel, ++).

	Rivieren	Delta	Meer	Zee
Windgolven	+/0	++	++	++
Deining	0	+	0/+	++
Scheepsgolven	+	+	+	+

Voor golven zijn aansturend/ van invloed:

Bodem (golven zijn gelimiteerd door de lokale waterdiepte), weersomstandigheden (wind, resulterende waterstand), maar ook stormvloedkeringen en andere obstakels als dammen kunnen bepalend zijn evenals stroming.

#### 4.4.3 Bodem<sup>5</sup>

De bodemligging voor de kering is van belang (voorland), maar voor het ontwerp is ook de bodem onder de kering niet onbelangrijk. Zetting en klink zullen optreden na de aanleg, maar ook bijvoorbeeld door indringing van zout water bij veen (Luijendijk & Hijma, 12 november 2014). Deze moeten rechtstreeks worden verdisconteerd in de hoogte van de kering ter compensatie. Het gaat hierbij om de klink en zetting gedurende de planperiode.

Tabel 4.4 Invloedsfactoren op deelsystemen voor bodem

	Rivieren	Delta	Meer	Zee
Klink	++	+	+	+
Zetting	++	+	+	+

<sup>5</sup> Strikt genomen is de bodemligging geen directe belasting. Het heeft echter wel een groot effect op de andere belastingen (bijvoorbeeld golfbelasting d.m.v. diepte gelimiteerde golfbreking).

*N.B.1 Natuurlijk zijn morfologie en slibtransport ook van belang voor de ligging van de bodem. Deze zorgen voor veranderingen in de bodem, die echter bij het ontwerpen van dammen en dijken met name worden gebruikt om bij verschillende bodemliggingen waterstanden en golfbelastingen te kunnen bepalen. Golven zijn bijvoorbeeld diepte gelimiteerde door golfbreking ten gevolge van de bodem. De ligging van ondieptes of juist dieptes vlak voor een kering en de verandering hiervan in de planperiode zijn daarom van groot belang voor een ontwerp en moeten worden meebeschoofd.*

*N.B.2 De bodem zelf heeft anders dan klink en zetting geen directe invloed op de dam of dijk danwel het kunstwerk..*

Ook is de ligging van geulen voor de kering van belang en de verandering hiervan in de levenscyclus van de kering. Ook hiervoor geldt dat hierbij de invloed tot uitdrukking komt in de golf- en waterstandsbelasting.

#### 4.4.4 Andere belastingen

##### *Belastingsduur*

De duur van de belasting wordt bepaald door het waterstandsverloop bij rivieren, danwel de stormduur op zee, of een combinatie in de Delta.

##### *Rivieren*

Voor rivieren (en de hogere delta) zijn van belang:

- de vorm van de afvoergolf
- de topafvoer

Deze grootheden zijn bepaald op basis van gegevens uit het verleden, waarbij de lage afvoeren buiten beschouwing worden gelaten, omdat deze lage afvoergolven sterk afwijken in vorm ten opzichte van de hoge afvoergolf. Dit resulteert uiteindelijk in een representatieve vorm voor de afvoergolf en een werklijn. Deze werklijn geeft het verband tussen de topafvoer en de terugkeertijd in jaren. Op basis hiervan wordt een maatgevende afvoer afgeleid die hoort bij een jaarlijkse kans van 1/1250.

De breedte van afvoergolf is een stochast met een lognormale verdeling voor Rijn, Maas en Overijsselse Vecht. Informatie hierover is te vinden (Tijssen, 26 november 2009b) en (Tijssen, 26 november 2009a).

##### *Meren*

Een meerpeilgolf heeft een duur van enkele dagen tot weken. De gemiddelde vorm van de meerpeilgolf wordt op een vergelijkbare manier bepaald als die voor de afvoergolf. Ook voor de meerpeilgolf wordt gewerkt met een werklijn. Van belang hierbij is ook de sluiting van keringen.

##### *Stroming*

Een stroming langs een kering kan tot extra druk leiden langs de kering. Stroming kan worden meegenomen in de waterstandsbeplanning en in de golfbelasting. Stroming wordt niet apart als belastingparameter beschouwd.

##### *IJs*

IJs heeft dan weliswaar in geen eeuwen meer een overstroming veroorzaakt, het kan nog steeds voor aanzienlijke schade zorgen aan de bekleding.

#### 4.4.5 Beleidsinvloed op waterstanden

De overheid probeert door beslissingen en maatregelen Nederland veilig te maken voor overstromingen. Deze zaken worden hier aangeduid als beleidsinvloed. Het gaat om maatregelen die voortkomen uit beslissingen met als doel de bevolking te beschermen.

##### *Meerpeil*

Het meerpeil voor de verschillende meren wordt beleidsmatig vastgesteld. Het meerpeil kan immers worden gevarieerd door meer of minder spuien. Als er niet gespuid kan worden onder vrij verval door een te hoge buitenwaterstand moet een berekening (massabehoud) worden uitgevoerd wat dit betekent voor het meerpeil.

##### *Afvoerverdeling*

De verdeling van de afvoeren van de Nederlandse rivieren zijn worden beïnvloed door kunstwerken. Deze hebben met name als doel om onder maatgevende omstandigheden (zie volgend hoofdstuk) nog al het hoogwater te kunnen keren. Dit heeft invloed op het meerpeil.



## 5 Van operationele condities tot normcondities

In hoofdstuk 3 is een definitie gegeven van het begrip belasting. Meer specifiek kan belasting na hoofdstuk 4 worden beschreven als: de impact door waterstanden en golven, en de duur van het verschijnsel (van de storm of hoogwater) vlak voor de kering. Voor een ontwerp is de belasting onder gewone omstandigheden niet voldoende, maar gaat het om de belasting bij extreme situaties. In dit hoofdstuk worden beleidseisen voor de toetsing van een kering beschreven. Deze toetseisen kunnen ook de basis vormen van de ontwerpseisen. Vervolgens wordt uitgelegd hoe de belasting voor operationele situaties, kan worden opgeschaald naar extremen, zodat deze toegepast kan worden voor het toetsen, en (met een aantal toeslagen) ook voor het ontwerpen van de kering.

### 5.1 Toetsen, ontwerpen en normcondities

Het toetsen van keringen is een wettelijke plicht voor de beheerder van de kering. De frequentie van de wettelijke toetsing is (recent aangepast naar) eens per twaalf jaar. De getallen waarmee wordt getoetst heten de Hydraulische Randvoorwaarden, (HR). De HR en het toe te passen instrumentarium voor de toetsing worden vastgesteld door de minister. De HR zijn afgeleid conform een wettelijke norm die is vastgelegd in de Waterwet. De omstandigheden die ten grondslag liggen aan de HR, en de bijbehorende belasting worden ook wel normcondities of maatgevende omstandigheden genoemd. In 2006 zijn de HR voor de laatste keer vastgesteld door de minister. De norm zal naar verwachting worden aangepast in 2017. Het instrumentarium en de HR zullen daarom ook moeten worden aangepast. Het bepalen van de belasting zal hierbij ook in de nieuwe methodiek nodig blijven voor zowel toetsen als ontwerpen.

Een aandachtspunt daarbij is de stand der techniek van de HR (het modelinstrumentarium). Deze was bij het opleveren van de HR/CR al circa 6 jaar oud, en aan het eind van de toetsronde (die 6 jaar duurt) dus al 12 jaar. De stand der techniek is immers op enig moment bevroren, om er zeker van de te kunnen zijn dat er een consistente set wordt opgeleverd. Als er dan in die bewuste HR-cyclus de oude getallen zijn overgenomen uit de cyclus daarvoor, dan zijn de getallen dus ca. 18 jaar oud. En met de (recente) aanpassing van de frequentie van toetsen zullen de genoemde HR-getallen nog ouder kunnen zijn. De ontwerper heeft de verplichting om uit te zoeken hoe deze aan te passen zijn om nieuwe ontwikkelingen en ontdekkingen te verdisconteren.

Voor de ontwerpwaarden is geen wettelijke basis en is geen wettelijke vastgelegd instrumentarium beschikbaar. Wel is er voor nHWBP een Ontwerpinstrumentarium (OI) beschikbaar gekomen in 2014 en ook voor 2015 wordt hier verder op voortgebouwd (zie (Bieman & Kieftenburg, 2015)). Ook in de leidraden staan richtlijnen over de ontwerpscope (levensduur). Zo worden dammen en dijken ontworpen voor een scope van 50 jaar, tenzij het gaat om een moeilijk uitbreidbare situatie. Dan staat deze termijn op 100 jaar.

Een ontwerp dient in ieder geval bij de eerste wettelijke toetsing (nog) te voldoen. Daarom wordt er in de praktijk voor ontwerpen ook gebruik gemaakt van het instrumentarium voor het toetsen en doet men er verstandig aan de HR-dataset te gebruiken. Ook moet het ontwerp daadwerkelijk worden getoetst met de vigerende HR. Bovendien geldt dat met de overgang naar de overstromingskansnorm, de ontwerper er verstandig aan doet hierbij aan te sluiten. Dit kan met het nieuwe OI. Mocht men inmiddels reeds klaar zijn met het ontwerp volgens de ENW-methodiek, dan doet men er verstandig aan om de gevolgen van de nieuwe norm in te schatten. Ook dan komt men weer uit bij het OI.

Voor een ontwerp moet natuurlijk ook rekening worden gehouden met dagelijkse gebruikscondities, aanleg e.d. ofwel met operationele omstandigheden.

## 5.2 Maatgevende omstandigheden en statistiek

Voor een ontwerp zijn niet alleen de dagelijkse, operationele belastingen van belang maar juist extremere situaties met een kleinere kans van optreden. Voor de toetsing van de keringen worden normcondities gehanteerd. Het toetsen van een kering gebeurt met de toetsrandvoorwaarden (waterstanden en golfbelastingen, afgeleid op ca. 50 m van de teen van de kering).

N.B. In alle gevallen moeten de golfcondities nog van het uitvoerpunt naar de teen van de dijk vertaald worden om een goede toetsing te kunnen uitvoeren. Dit kan met Bretschneider, de voorlandmodule, Endec of SWAN volgens (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007). Doet men dit niet, dan zullen de golfcondities doorgaans hoger zijn dan noodzakelijk.

Opgemerkt wordt dat bij gebruik van SWAN voor de vertaling naar de teen van de kering, in de praktijk de laatste twee natte cellen als minder betrouwbaar werden aangemerkt. Een vergelijking van de uitwerking van de verschillende modellen is nooit gemaakt. Endec is inmiddels in onbruik geraakt. Mede hierom is een check of fysieke correctheid van belang (zie ook paragrafen 6.2 en 11.6.2).

Deze toetsrandvoorwaarden corresponderen met de meest waarschijnlijke belastende situatie (voor hoogte en overslag)<sup>6</sup> die hoort bij de norm uit de wet (Waterwet). Het geheel van (aansturende) bronconditie, (resulterende) effecten en (resulterende) belastingen, die horen bij deze wettelijke toetsrandvoorwaarden worden samen de maatgevende omstandigheden genoemd. De opgelegde norm varieert per dijkkringgebied en zal in de nabije toekomst aangepast gaan worden.<sup>7</sup>

Voor een ontwerp geldt dat ook aan het einde van de planperiode de kering nog aan de opgelegde norm moet voldoen.

Om een inschatting te kunnen maken over hoe de normcondities er uit zien, worden statistieken gemaakt op basis van veldmetingen. Op basis van deze statistieken kunnen er door extrapolatie voorspellingen worden gedaan voor extremere situaties dan er ooit zijn gemeten en kan de situatie met de gewenste normfrequentie worden gekwantificeerd. Ook kunnen correlaties worden vastgesteld tussen de gemeten belastingen en de windrichting bijvoorbeeld.

Precies dit werk is al uitgevoerd voor de toetsrandvoorwaarden. Met relatief weinig inspanning kan voor ontwerpvoorwaarden op deze methodiek worden voortgebouwd. Dit betekent concreet dat er voor ontwerpen ten opzichte van de toetsing zal worden geëxtrapoleerd naar waarden met een kleinere kans van voorkomen. Immers ontwerpwaarden moeten een reserve hebben ten aanzien van toetsrandvoorwaarden. Ook is de planperiode ca een factor 10 groter

<sup>6</sup> De getallen in het HR-boek corresponderen met de grootste belasting bij de geldende (overschrijdings)norm voor het toetsspoor 'Hoogte'.

<sup>7</sup> Voor de berekeningen die nodig zijn om te komen tot de toetsrandvoorwaarden geldt dat de wiskundige ruimte die moet worden opgespannen voor de aansturende maatgevende omstandigheden bij een veranderende norm wel min of meer gelijk zal blijven. (Zie paragraaf 5.4: De aansturingsmatrix zal vergelijkbaar zijn.)

dan voor toetsen en daarmee zijn ook de gevolgen van onder meer zeespiegelstijging groter maar ook de beleidsonzekerheden worden groter, en deze zullen in het ontwerp moeten worden verdisconteerd. Hiernaast moet er dus voor de ontwerprandvoorwaarden aanvullende informatie worden verzameld en afgeschat voor wat er in de tijd tussen het afleveren van de toetsrandvoorwaarden en het einde van de planperiode aan veranderingen en ontwikkelingen te verwachten is die de ontwerprandvoorwaarden kunnen beïnvloeden. Hiervoor is het overzicht van de bronnen uit hoofdstuk 3 en hoe dit zich uit in de belastingen uit hoofdstuk 4 handig.

### 5.3 Inzet rekenmodellen voor de belasting

Zoals aangegeven gaat het voor ontwerpen om belastingen vlak voor de kering. Omdat de echte belasting natuurlijk nooit overal en continu bekend kan zijn, wordt er teruggevallen op voorspellingen op basis van rekenmodellen. In deze modellen is een benadering van de werkelijkheid geprogrammeerd, waarin de beschrijvingen uit hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 in wiskundige formuleringen zijn omgezet (modelfysica). Deze rekenmodellen hebben invoerparameters nodig, de aansturingsvelden of -parameters, die een weergave zijn van de bronnen en invloedsfactoren. Om een goede schatting te kunnen maken met de modellen van de belastingen voor de normconditie, aan het einde van de planperiode, moeten allereerst de invloedsfactoren op de belasting van de keringen bekend zijn. Een deel daarvan zit dus in de modellen, in de modelfysica of moet als invoer worden meegenomen in het fysische model. Maar lang niet alle invloedsfactoren kunnen goed worden gemodelleerd. Verschijnselen kunnen bekend zijn zonder dat daar een sluitende beschrijving of verklaring voor is. Voorbeelden hiervan zijn de seiches voordat (Jong, 2004) hier met een verklaring voor kwam, of de interactie tussen de verschijnselen, zoals golfstroominteractie.

De uitkomsten van een dergelijk model bij de kering representeren de belasting op deze kering. Voor stromings- en waterstandsmodellen zijn dat de waterstandsniveaus. Voor golfmodellen kunnen dit golfspectra of golfparameters zijn. In het geval van spectra worden deze uiteindelijk in de ontwerp praktijk gereduceerd tot golfparameters. Resulterende golfparameters en waterstandsparameters nabij de kering samen worden de belastingsparameters genoemd.

Voor de (wel) geprogrammeerde verschijnselen kunnen met veldmetingen<sup>8</sup> of laboratoriummetingen de modellen en hun fysica worden gevalideerd en gekalibreerd. Op basis van deze zelfde metingen uit heden en verleden zijn ook de eerder genoemde statistieken afgeleid.

Maar omdat metingen meestal worden uitgevoerd op een locatie op enige afstand van de dam of dijk blijven de modellen belangrijk voor de vertaling van de belastingsparameters op enige afstand, naar die vlak voor de kering. Vlak voor de kering of op de kering meten blijkt namelijk lastig. Hier spelen bij dammen en dijken reflectie en ondiep water fysica (brekende golven, triad-golfwisselwerking, e.d.) een rol die het meten lastig maken (RWS, 1995-2007) (ProjectBureau

#### Omschrijving watersysteem

Merk op: onder invloedsfactoren wordt dus meer verstaan dan de modelfysica. Het gaat letterlijk om alles wat van belang kan zijn in de beïnvloeding van de belastingen en hier voor de belastingsparameters in het bijzonder. Een goede omschrijving van het watersysteem is daarom nodig, van lokale bodemligging, aanwezigheid van strekdammen of nollen, maar ook aanwezige deining. Al deze factoren samen zijn bepalend voor de modeluitkomsten.

<sup>8</sup> Van golven, waterstanden, wind en bodem.



Zeeweringen (PBZ), 1997-2015). De statistieken voor de dieper gelegen meetlocaties helpen wel bij het aansturen van de modellen. De statistieken bepalen immers het (wiskundig) domein van de aansturingsvariabelen, de stochasten, dus de grootte van de op te spannen wiskundige ruimte<sup>9</sup>.

De aansturende variabelen vormen de invoer die in de modellen als randvoorwaarden op de modelrand worden opgelegd. Deze omvat een grote range van waarden met verschillende terugkeertijden: van gemeten operationele en stormwaarden naar de geëxtrapolerde normwaarden en daar voorbij.

Hiernaast is ook de bodemgeometrie als invoer voor het model nodig. Deze bepaalt immers mede hoe de randvoorwaarden bij de kering aankomen, en hoeveel dit nog bijdraagt aan de belasting van de kering. Omdat het onmogelijk is om de hele stochastische ruimte door te rekenen, maar ook om tijd en geld te besparen, worden de aansturingsvariabelen stapsgewijs gevarieerd (aansturingmatrix). Voor de aansturingsvariabele 'bodem' wordt doorgaans een vaste keuze gemaakt, hoewel deze ook sterk kan variëren. *Dus in de WTI-berekeningen is de bodem voorsnog niet als stochast meegenomen.*

#### 5.4 Maatgevende aansturingsvariabelen

In deze paragraaf worden een aantal begrippen dat verband houdt met extreme toets- of ontwerpcondities nader toegelicht. Ook wordt er ingegaan op een aantal aansturende variabelen dat (middels beleid) is vastgesteld door de minister en vastgelegd in achtergrondrapportages (Gautier & Groeneweg, maart 2012), (Chbab, juli 2012), (Chbab, Augustus 2012), (RWS-RIKZ, november 2008), (RWS-RIZA, 2007).

##### 5.4.1 Toe te passen modellen

Voor golven worden toegepast: SWAN of Bretschneider.

Invoer: bodem, windveld of windsterkte, waterstandsveld of waterstand en eventueel een stromingsveld.

Voor waterstanden worden de modellen WAQUA, SOBEK of IMPLIC (Oosterschelde) toegepast. Invoer: bodem en windsterkte danwel windveld

Voor de wind wordt uitgegaan van open waterwind die op 10 m boven het wateroppervlakte wordt afgeleid. Deze wordt gehaald uit de potentiële wind die weer gebaseerd is op de gemeten wind, waarbij rekening is gehouden met de lokale ruwheid rond het meetstation.

Voor de bodem zijn er meer mogelijkheden: dit kan een actuele bodem zijn, een aangepaste actuele bodem waarbij rekening is gehouden met toekomstige ontwikkelingen of een samengestelde bodem. (meer hierover in Bijlage A).

Alle berekeningen met de bovengenoemd modellen vormen samen een set aan belastingscombinaties (waterstanden en golfcondities). Deze worden opgeslagen in een database.

Het Hydra-model (Hydra-K of Hydra-Zoet) wordt toegepast om uit de set met belastingen op probabilistische wijze de meest waarschijnlijke belastende situatie te kunnen bepalen, per faalmechanisme.

---

<sup>9</sup> Deze ruimte heeft evenveel dimensies als er aan stochasten worden meegenomen. Het domein wordt aan de onderzijde begrensd door metingen. De bovengrens moet zodanig zijn dat de normfrequentie nog in het domein valt

#### 5.4.2 Correlatie aansturingsturingsvariabelen

Bij het combineren van belastingen is het belangrijk om de aansturende stochasten zo te kiezen dat deze niet al te veel met elkaar samenhangen, dus dat ze niet sterk gecorreleerd zijn.

*N.B. Stochasten zijn sterk gecorreleerd als deze correlaties groter zijn dan 0,8 (Jongejan, 2014)*

#### 5.4.3 Uitvoerlocaties

De uitvoer van de modelberekeningen wordt opgeleverd in uitvoerlocaties. Uitvoerlocaties liggen ongeveer 50m van de teen van de kering en dat is ongeveer 100m uit de kruin, danwel op de as van de rivier, met een onderlinge afstand van ca. 250 m. In het HR-boek is dan maar 1 op de 4 uitvoerpunten opgenomen! De andere drie zijn wel opgenomen in de HR-dataset die worden meegeleverd bij de Hydra-software. Deze dataset en Hydra-software is op te vragen bij de helpdesk water.

Hiermee ontstaat per uitvoerlocatie een set van belastingsparameters voor die locatie die representatief is voor/ hoort bij de aansturingset van stochasten en andere invoervelden. Wat in het HR-boek komt is de meest waarschijnlijke combinatie van belastingsparameters, horende bij de normconditie, voor een standaard dijkprofiel met talud 1:3, horend bij het toetspoot 'hoogte'.

De waarden voor de belastingsparameters moeten nog worden vertaald naar de teen van de kering. Deze laatste meters kunnen bepalend voor de uiteindelijke reductie van bijv. de golfhoogte. Hiernaast moet voor de toetsing nog het echte dijkprofiel worden toegepast.

Wat voor het toetsen geldt, geldt ook voor het ontwerp. Het dijkontwerp moet ook aan het einde van de planperiode van het ontwerp als 'voldoende' uit de toets komen. Hierbij geldt ook bij ontwerpen ook dat de HR dan nog wel moeten worden vertaald naar de teen van de kering en maar nu met het echte dijkprofiel. Voor de vertaling van de randvoorwaarden naar de teen is dan dus ook het voorland van groot belang.

#### 5.4.4 Maatgevende waterstand

*Basispeil: referentie voor de zeespiegel*

De zeespiegel die bij de waterstand hoort met overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar heet het Basispeil. Dit is de basis voor de berekeningen voor de toetsing. Deze moet per locatie worden aangepast aan de daar geldende norm en erna worden vermeerderd met de ZeeSpiegelStijging (ZSS) die inmiddels heeft plaatsgevonden sinds de afleiding van de basispeilen in 1985, om te komen tot het toetspeil. Deze basispeilen zijn formeel vastgelegd.

Of er ook al ZSS is meegenomen bij de bepaling van de HR is afhankelijk van het jaar waaruit de HR stamt (zie Bijlage B: Eigenschappen van de HR).

Voor ontwerpen moet hiernaast rekening worden gehouden worden met de ZSS in de planperiode.

*MHW*

Het maatgevend hoog water (MHW) is gebaseerd op diverse waterstandsberekeningen. Hiervoor is het WAQUA model(2D) gebruikt (CR2011) of SOBEK(1D) (TMR2006), danwel IMPLIC (voor

#### **Opvragen uitvoerlocaties**

Voor de ontwerper kan het nodig zijn om de belasting voor een van de niet in het HR-boek gepubliceerde uitvoerlocaties toe te passen. Dit kan blijken als de beschrijving van het systeem en de uitvoerlocaties bij elkaar worden gebracht.

Deze locaties en de uitkomsten staan in de HR-dataset en zijn op te vragen via de Helpdesk Water.

de Oosterschelde) afhankelijk van het gebied en het jaartal van de afleiding van de HR (meer hierover in Bijlage B.). Voor WTI2017 zal ook in het rivierengebied WAQUA worden toegepast.

Voor rivieren geldt: nabij de waterkeringen zullen waterstanden tot enkele centimeters (rivieren en Haringvliet) afwijken van de waarde ter plaatse van de as van de rivier. Bij het gebruik van SOBEK(1D)-resultaten moet hiermee rekening worden gehouden. Dit gebeurt middels een zogenaamde TOF-berekening<sup>10</sup>.

Voor gebieden waar WAQUA is toegepast zit de scheefstand/ opzet al in de uitkomsten van het model. De verhoogde waterstand ten gevolge van de stormopzet (zie paragraaf 5.4.7) zijn voor het Benedenrivierengebied in de productieberekeningen voor de Concept Randvoorwaarden uit 2011 (CR2011, zie ook bijlage 13B) meegenomen. En ook voor de veel oudere berekeningen van de Oosterschelde is de stormopzet als stochast beschouwd. Voor deze twee gebieden is de stormopzet het belangrijkste.

Voor de kust, waaronder ook de Westerschelde wordt de opzet bepaald middels triangulaire interpolatie op basis van drie basisstations (zie (Vrouwenvelder, Steenberg, & Diemanse, december2003)). Het MHW volgt uiteindelijk via probabilistische berekeningen uit Hydra-Zoet dan wel Hydra-K (de vigerende toetssoftware pakketten, op te vragen via de Helpdesk Water).

#### 5.4.5 Beleidsinvloed

##### *Meerpeil*

Het meerpeil voor de verschillende meren wordt beleidsmatig vastgesteld. Het meerpeil kan immers worden gevarieerd door meer of minder spuien. Als er niet gespuid kan worden onder vrij verval door een te hoge zeespiegel moet een berekening (massabehoud) worden uitgevoerd wat dit betekent voor het meerpeil. Bijv. voor het IJsselmeer geldt:

Door de grote waterbergende oppervlakte van het IJsselmeer van circa 1200 km<sup>2</sup> kan het meerpeil gedurende een storm maar in beperkte mate toenemen. Voor een zeldzaam hoge IJssel afvoer van 1800 m<sup>3</sup>/sec met een gemiddelde frequentie van circa 1/50 per jaar en een volledig geblokkeerde afvoer naar de Waddenzee, neemt het meerpeil met ongeveer 10 tot 15 cm per etmaal toe. Voor de duur van een storm van 11 uur tot het einde van de top, is dit ongeveer de helft. Daarom wordt het meerpeil gedurende het stormverloop van 11 uur constant verondersteld. (Westphal & Hartman, 25 maart 1999)

##### *Maatgevende afvoer*

De maatgevende afvoeren van de Nederlandse rivieren zijn beleidsmatig vastgelegd. De maatgevende afvoer wordt berekend op basis van statistische analyses van opgetreden hoogwaters. Maar ook het zogenaamde fysisch maximum speelt een rol. Dit is de maximale afvoer die Nederland via de Rijn of de Maas kan bereiken.

Voor de WTI 2017 geldt dat er is overgestapt naar het GRADE-model voor het bepalen van de afvoeren en afvoerpieken. Hiermee zijn de maatgevende afvoer van de van 16.000 m<sup>3</sup>/s en de maatgevende afvoer van de Maas van 3.800 m<sup>3</sup>/s voor het jaar 2015 verouderd.

Deze afvoeren zijn bepalend voor onder meer het peil in de IJsseldelta en het meerpeil daarachter.

Echter: de nieuwe getallen zijn nog niet bekend. Navragen van de laatste stand van zaken bij de Helpdesk Water is daarom nodig als het OI wordt toegepast. Met deze getallen moet de onderstaande tabel worden ingevuld. Voor de tussenliggende jaren kan er lineair worden geïnterpoleerd.

---

<sup>10</sup> TOF= Tijdelijke Opslag Fysische grootheden.

Tabel 5.1 Voorbeeld tabel Maatgevende afvoeren voor verschillende zichtjaren

zichtjaar	Rijn Lobith 1/1250	Maas Borgharen 1/1250	Maaskades Borgharen 1/250	Ov Vecht
2015				
2050				
2100				
2150				

*Fysisch Maximum*

Bij het bepalen van de maatgevende afvoeren is geen rekening gehouden met het fysisch maximum. Het is daarom nodig om alert te blijven bij het toepassen van de maatgevende afvoeren.

*Modellen*

De waterstandsvelden die in een stationaire berekening voor golven worden ingevoerd bevat topwaterstanden nabij de kering. Het is derhalve geen echt waterstandsveld dat op enige tijd optreedt!

## 5.4.6 Golfbelasting

*Windgolven*

Naast de maatgevende waterstand zijn in een aantal gebieden ook golven van groot belang voor de belasting op de keringen. Vaak zijn dit golfhoogte  $H_s$ , golfperiode  $T$  (vele varianten, zie Bijlage 13I, zoals bij de piek van het spectrum of de spectrale periode  $T_{m-1,0}$ ), en soms ook de richting (voor golfloop van groot belang). Deze worden afgeleid uit golfspectra van het SWANmodel of komen uit Bretschneiderberekeningen.

Op de rand van het SWANmodel worden deininggolven opgelegd. Welke conditie uiteindelijk maatgevend is volgt uit het probabilistische Hydra-model. De hele set aan berekeningen uit de aansturingmatrix (zie paragraaf 5.3) resulteert dus slechts in 1 situatie die als maatgevend wordt aangegeven. Deze staat in het HR-boek (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007).

*MHBN*

Het MHBN (Maatgevend Hydraulisch Belasting Niveau) volgt uit de Hydra software door berekening van de golfloop en hierop volgende golfoverslag. Het MHBN is bepalend voor de hoogte van de kering.

Het MHBN is de kruinhoogte van de dijk waarbij het gespecificeerde kritieke golfoverslagdebiet met exact de opgegeven normfrequentie optreedt. Het MHBN gaat gepaard met een waterstand en golfkarakteristieken die volgen uit het ontwerp punt (dat wil zeggen: de meest waarschijnlijke combinatie van parameters die precies tot het kritieke overslagdebiet leidt). Let wel: de waterstand die hierbij zal lager zijn dan het MHW. Immers, anders dan bij het MHW wordt de beschikbare kansruimte niet alleen in beslag genomen door de waterstand, maar ook door de golfkarakteristieken.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> *Wiskundig gezien is de grenswaarde van het MHBN met medeneming van de invloed door golven met hoogte van nul meter is gedefinieerd als het MHW. Omgekeerd is het MHW met daarbij opgeteld de maximale invloed van golven te gebruiken als bovengrens voor het MHBN.*

*N.B. Het MHBN is altijd groter dan het MHW!*

#### 5.4.7 Andere belastingen

##### *Belastingsduur*

Ook de belastingduur kan bepalend zijn voor de sterkte of gebrek hieraan van de keringen. Voor de faalmechanismen piping en zowel micro- als macrostabiliteit is de duur van verhoging in de lokale waterstand van belang. Daarom hebben we ook informatie nodig over het verloop van waterstand (zie paragraaf 4.3.1) in de tijd tijdens de storm. Dan wordt het in het rivierengebied en in de delta belangrijk of de keringen wel of niet dicht zitten. Voor de genoemde faalmechanismen is een dichte kering maatgevend, voor anderen is een open kering maatgevend.

##### *Stormduur en stormopzetduur*

De stormduur is gedefinieerd als de duur van een (typische) storm. Deze begint (in theorie) bij 0 m/s en eindigt ook weer bij 0 m/s wind. De stormopzetduur is de tijd dat er ten gevolge van de storm een waterstandsverhoging optreedt. Beide termen zijn, ten onrechte, regelmatig door elkaar gebruikt. In de TROB (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 79) staat letterlijk: 'Voor het stormverloop kan, op dezelfde wijze als in Figuur C.5 van Bijlage C, de basisduur van het trapezium gelijk gehouden worden aan de stormopzetduur'. Hiermee wordt stormopzetduur en stormduur aan elkaar gelijk gesteld voor het benedenrivierengebied!

Verder geldt dat in het Rivierengebied de waterstand afvoergedomineerd is. Daar is de stormduur wel van belang voor windgolven, maar wordt niet gesproken over de stormopzetduur. De stormduur en stormopzetduur zijn voor zover terug te vinden, genoemd in Tabel 5.2, inclusief de referentie.

De stormopzetduur is mede bepalend voor het sluitingsregime van keringen. Echter juist ook door een verhoogde waterstand achter zo'n kering kan er schade aan bijvoorbeeld de grasbekleding ontstaan. Deze is matig bestand tegen langdurige blootstelling aan hoogwater.

In verschillende rapporten en achtergrondrapporten bij de verschillende WTI's zijn gegevens verzameld over de stormduur en stormopzetduur. Opvallend is dat er niet voor alle combinaties informatie is gevonden en dat bijvoorbeeld in het HR2006 boek maar voor een paar watersystemen informatie te vinden is. Ook lijken er verschillende getallen te resulteren (afgeleid uit figuren) voor stormopzetduur in de meren en in de Benedenrivieren. Uit Tabel 5.2 blijkt duidelijk dat de stormduren en stormopzetduren gelijk blijven of langer worden volgens de inzichten uit WTI2011 ten opzichte van de oude werkwijze. De duur van het windverloop bleek wat aan de korte kant (zie bijlage 2 van (Geerse, december 2003)). Maar 'omdat de keuze van het windveld niet zo belangrijk blijkt voor de uitkomsten van water- bewegingsberekeningen, is bij de oude keuze gebleven (veelal niet meer dan 0,02 m verschil bij een 7 uur langere stormduur). (Geerse, december 2003) ' aldus de TROB (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 119 & 120) in de bijlage C over het benedenrivierengebied.

In de TROB Par 9.4.2 over het benedenrivierengebied (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 79) staat echter ook: "De stormopzetduur heeft invloed op de berekende maatgevende hoogwaterstanden: toename van 29 uur naar 33 uur leidt maximaal tot waterstandsverhogingen van ongeveer 0,10 m (Duits en Thonus, 2002).

Voor ontwerpdoeleinden is een stormopzetduur van 29 uur te laag (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 79 & 119) en zou dit 33 uur moeten worden. Hoe het precies zit in de

verschillen tussen de duren voor ontwerpen versus toetsen wordt daar niet nader uitgelegd, noch wat de verwachte invloed hierbij is.

Voor de golven worden er voor het verloop van de storm verschillende ((nu nog) stationaire) berekeningen uitgevoerd, die een verloop geven van de golfcondities in de tijd.

### *Stroming*

Stroming kan zowel direct belastend zijn, maar ook onderdeel zijn van waterbewegings- of golfmodellen.

Tabel 5.2 Stormduur en stormopzetduur

	oud		WTI 2011		ref	Stormopzetduur	ref	Stormopzetduur	ref
	Stormduur	ref	Stormduur	ref					
Vecht- en IJssel-delta	48	(RWS 2006) par 2.4.6; (Chbab 2011, p8)	48	(Chbab 2011, p8)					
	48	(Deltares maart 2009, p28) en (Tijssen A., 2010)	48 uur op het 0 m/s niveau, trapeziumvorm	(Chbab Augustus 2012, p30)					
Benedenrivieren	35	(Heijer 1996, p3)							
	29 uur op het niveau van 10 m/s met flanken van 12 uur naar het niveau van 0 m/		29 => 35	(RWS 2007b, p79)		30 uur op het 0,5 meter, met flanken van 12 uur (T s flank) naar het nul meter niveau	(Chbab Augustus 2012, p. 30 en p.32)		
Hoek van Holland Noordzee			29 => 33	(RWS 2006), par 2.4.4					
			35	(RWS 2006), par 2.6.2					
	35	(Heijer 1996, p1)	35	(RWS 2007b, p79)					
Westerschelde	35	(Heijer 1996, p3) =>p1	35	(RWS 2006), 2.6.3: idem Noordzee	48		(Tijssen A., 2010)		(Tijssen A., 2010)
Oosterschelde									
IJssel- en Markermeer, randmeren									
IJsselmeer	48	(RWS 2007b, p81)							
Waddenzee	35	(Heijer 1996, p1)	45	(Heijer 1996, p1); (RWS 2007b, p79)					
			45						

## 6 Robuustheid

### 6.1 Inleiding

De totstandkoming van de belasting op een kering, zoals beschreven in de hoofdstukken hiervoor is bruikbaar voor zowel het toetsen en ontwerpen van een kering. Bij het ontwerpen is echter de onzekerheid over de belastingen groter, aangezien de kering moet voldoen tot aan het einde van de planperiode. Het maken van een goede inschatting van deze onzekerheden is het onderwerp van dit hoofdstuk.

Robuust	- krachtig, - stevig gebouwd
Stevig	- Krachtige weerstand bieden - Goed in elkaar zitten

### 6.2 Robuustheid en de relatie tot onzekerheden

Indien gesproken wordt over een goed toekomstbestendig ontwerp van een kunstwerk wordt vaak gesproken van een Robuust Ontwerp. In de praktijk blijkt robuustheid een in de praktijk gegroeid begrip waarin van alles wordt meegenomen.

Robuust ontwerpen volgens de Leidraad Rivieren is: "Ontwerpen waarin rekening is gehouden met :

- Toekomstige ontwerpbelastingen
- Onzekerheden
- Uitbreidbaarheid."

In andere leidraden of addenda van de huidige vigerende werkwijze die door ENW is geakkoord, is deze omschrijving steeds naar de inzichten van dat moment ingevuld. Er is geen consistentie over alle leidraden. Ook het nieuwe OI is hierop (nog) geen uitzondering.

Het is ongeacht de precieze invulling van Robuust Ontwerpen duidelijk dat onzekerheden hier een belangrijke rol spelen. In de huidige praktijk van het opstellen van hydraulische ontwerpvoorwaarden voor dijken en dammen wordt veelal de term "toeslagen" gebruikt voor allerlei soorten correcties voor modelfouten en onzekerheden.

Het doel van dit hoofdstuk is om alle meegenomen onzekerheden te ontrafelen en te ordenen, en zo navolgbaar te maken.

In de toeslag voor de belastingen horen verwerkt te zijn: de modelonzekerheden, beleidsonzekerheden, de statistische onzekerheden en de inherente onzekerheden, (zie kader '**Onzekerheidsbronnen**'). Indien een waarde voor een onzekerheidsbron is bepaald wordt deze toegevoegd aan wat veelal de 'robuustheidstoeslag' wordt genoemd. De robuustheidstoeslag is

#### **Onzekerheidsbronnen**

*Er worden vier onzekerheidsbronnen onderkend:*

1. **Modelonzekerheden (MO)** betreffen de verschillen (variëaties) tussen modelresultaten en metingen in de planperiode. Het is een eigenschap van het gebruikte model.
2. **Beleidsonzekerheden (BO)** betreffen onzekerheden in de beleidsuitgangspunten van het ontwerpscenario, zoals gedefinieerd in stap 6.2.1-e (zie paragraaf 11.4.5), beleidsontwikkelingen (bijv. keuze voor het klimaatscenario).
3. **Onzekerheden in statistiek (SO)** zijn vooral relevant voor de extreme en normcondities en vangen de onzekerheid in geëxtrapoleerde data (buiten meetbereik) op.
4. **Inherente onzekerheden (IO)** zijn hier gedefinieerd als de onzekerheden als gevolg van de natuurlijke variatie in waterstanden, stormduur, golfhoogtes etc. in operationele condities (i.e. variaties in metingen binnen meetbereik).



dus een optelsom van de onzekerheidsbronnen.

Al deze factoren zijn nodig voor een goed ontwerp, maar leveren nog geen veiligheidsmarge op zoals de term 'robuust' suggereert. Al deze factoren zouden los moeten worden gekwantificeerd. Hiervoor wordt in het kader van WTI-2017 onderzoek gedaan. Op dit moment staan in de leidraden en het OI2014 aanbevelingen voor o.m. de correctieswaarden, met harde getallen, die niet altijd bijdragen aan de robuustheid (zie hoofdstuk 7.3) en die mogelijk dubbel worden uitgevoerd, zoals de correctie voor golfhoogte en -periode. De correctie op de golfhoogte en -periode zijn namelijk ook al doorgevoerd in de HR in de KustDB2006 (MX.Systems, 16 juli 2004) Voor aanpassingen in belastingen wordt in vigerende Leidraden niet consistent gewerkt in een vast voorgeschreven volgorde zoals wel is voorgeschreven voor de Oosterschelde in (Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig, 23 februari 2011), Daar wordt het antwoord ook op fysische juistheid gecontroleerd. De volgorde van de stappen kan immers bepalend zijn voor de uitkomst. Zo'n precies voorgeschreven werkwijze is eenduidig en leidt bovenal tot een reproduceerbare einduitkomst.

*N.B. Er is een robuustheidstoetsing voor de sterkte (i.e. voor faalmechanismen) en een voor de belastingen (i.e. voor waterstanden en golven). Het gaat hierboven specifiek om de robuustheidstoetsing voor de belasting.*

*N.B.2 Een alternatieve benadering zou zijn om een veiligheidsmarge op te nemen op de einduitkomsten (dus na het uitwerken in de faalmechanismen). Bij een dergelijke werkwijze wordt met zekerheid robuustheid toegevoegd (waar dit nu niet altijd zo blijkt te zijn, zie Hoofdstuk 7). Zo'n aanpak komt de eenvoud en reproduceerbaarheid ten goede. In Figuur 7.1 is dit geïllustreerd voor het toetsspoor 'hoogte'. Bovenstaande opmerking neemt niet weg dat het wel verstandig is om voor de belastingen de diverse onzekerheden in kaart te brengen en te corrigeren voor fouten, en daarbij een vaste volgorde voor te schrijven.*

### 6.3 Statistische, inherente en modelonzekerheden in relatie tot beleidonzekerheden

Ieder rekenmodel dat wordt toegepast kent onzekerheden. Dit komt doordat het model doorgaans de werkelijk niet perfect kan simuleren, maar ook door de onzekerheden in de aansturende (zie paragraaf 5.4) parameters, waarbij de beschrijving van bijv. het windveld een vereenvoudigde versie is van de werkelijkheid, en de bodem niet die van dat moment is, maar die van enkele maanden daarvoor.

Dit totaal leidt tot een afwijking van het model als deze wordt geverifieerd met metingen, die op zichzelf natuurlijk ook een onzekerheidsmarge kennen. Dit is een combinatie van natuurlijke variatie (de inherente onzekerheden, IO) en onzekerheden rond meetfouten Deze laatste wordt veelal niet expliciet in beschouwing genomen. Veldmetingen worden immers zelf weer gevalideerd door de beheerder (RWS) en zijn 'juist' bevonden als deze worden opgeslagen in DONAR of op de website. Die validatie geldt ook voor laboratoriummetingen, maar deze worden elders opgeslagen. Echter perfecte meetinstrumenten die onder alle omstandigheden foutloos meten bestaan niet. En ook leveren twee meetinstrumenten op één locatie zelden exact gelijke metingen op. In de praktijk is het lastig de natuurlijke variatie en de meetfout goed van elkaar te scheiden.

De onzekerheid in de antwoorden van het model die hiermee wordt geïntroduceerd, zal worden afgeschat middels een statistische vergelijking met de metingen. Hieruit volgt doorgaans een afwijking van het model in vergelijking met de metingen. Deze afwijking kan per gebied, per modelversie en per aansturingsvariatie anders zijn. Het model zal worden gevalideerd en gekalibreerd om de afwijking van het model met de gekalibreerde instellingen voor de beschouwde gebieden in de kalibratieset zo klein mogelijk te maken. De afwijking die dan nog overblijft, heet de modelfout (MF). Omdat er ook natuurlijke variatie zit in de aansturing bij hindcasten e.d. zal er rond de benadering met de kleinste modelfout nog een verstrooiing van de

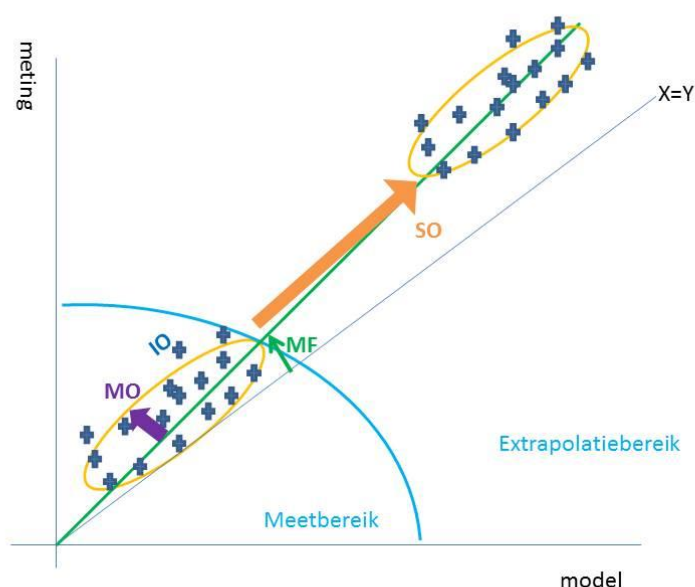
data zijn als metingen en model met elkaar worden vergeleken. Dit is een combinatie van statistische en inherente onzekerheid. Deze mate van verstrooiing levert de modelonzekerheid (MO).

De modelfout is eenvoudig te corrigeren door een correctie toe te passen op de uitkomsten van het model volgens een vaste formule. Deze formule is gebaseerd op de afwijking van de modeluitkomsten in de meetpunten voor de validatieset.<sup>12</sup>

Voor het toepassen van de modellen voor toetsen of ontwerpen is men geïnteresseerd in veel extremere condities. Er zal er worden gewerkt met weliswaar op metingen gebaseerde, maar middels extrapolatie opgeschaalde waarden die ver buiten het bereik van het gemetene liggen. De wijze waarop dit gebeurt en de aannamen die hiervoor nodig zijn introduceren een statistische onzekerheid die afhankelijk van de hoeveelheid en betrouwbaarheid van de metingen, de extrapolatie techniek. Dit levert samen de (grootste) statistische onzekerheid (SO).

Een en ander is geïllustreerd in Figuur 6.1 . Hierin is een schematisch weergave te zien van de diverse onzekerheden in een scatterplot waarbij de modeluitkomsten zijn uitgezet tegen de metingen. In het ideale geval zouden er alleen punten liggen op de lijn  $x=y$  , en wel zonder spreiding.

Figuur 6.1 Illustratie van diverse onzekerheden. Grootte van de kruisjes geeft de inherente onzekerheid. MO staat voor modelonzekerheid, MF voor meetfout, SO voor statistische onzekerheid.



Hiernaast zorgen beleidskeuzes zoals het te volgen klimaatscenario (de verwachtingswaarde of extremer), maar ook de te kiezen terugkeertijd (i.e. de te hanteren norm) voor onzekerheden. Voor deze onzekerheden is tot nu toe steeds een vaste keuze gemaakt. Zo wordt veelal het middenscenario toegepast. Er wordt zo gewerkt vanuit een verwachtingswaarde en er wordt voor de toets- en ontwerprandvoorwaarden niet gevarieerd in scenario.

<sup>12</sup> De validatieset en kalibratieset zijn beide een deelverzameling van de totale meetset. Ze mogen in strikte zin geen overlap met elkaar hebben.

#### 6.4 Grootte van de modelonzekerheid

Modellen zelf zijn in de loop van de tijd steeds verbeterd en aangepast. De onzekerheden in de modellen zelf volgen uit validatie en verificatiestudies. Voor de HR zijn deze studies steeds uitgevoerd aan de hand van de nieuwe inzichten, echter tot het moment dat de stand der techniek werd bevroren. Voor de verschillende toetsrondes zijn dus berekeningen uitgevoerd met andere versies met mogelijk andere modelinstellingen, en andere validatie en kalibratiesets. Dit betekent derhalve dat de onzekerheid in de modellen afhankelijk is van de stand der techniek van enige tijd voor het jaar dat de HR zijn afgeleid.

*N.B. Verificatiestudies worden veelal gebaseerd op metingen. Deze metingen vinden doorgaans plaats op relatief diep water. Nabij de kering zijn metingen lastig. De meetsite Petten, die in bedrijf was tussen 1995 en 2007, is daar een mooi voorbeeld van. Metingen in echt ondiep water zijn minder betrouwbaar gebleken dan die in dieper water. Bovendien is bij de dijk van Petten gebleken dat er ook nog reflectie plaatsvindt (Hordijk, Rapportage Veldmetingen Pettemer Zeewering Stormseizoen 2001-2002, februari 2003). Deze gereflecteerde golven bewegen zich van de kering af en dragen derhalve niet bij aan de (inkomende) golfbelasting. Toch zitten deze in de metingen en blijken lastig te onderscheiden. Kalibreren op basis van deze metingen zou dus tot een overschatting kunnen leiden.*

In de praktijk is in Zeeland, maar ook voor de Hollandse Kust, doorgaans gewerkt met correctiefactoren om de nieuwste inzichten en de vertaling naar ontwerpcondities te verdisconteren in oude HR-databases met toetsrandvoorwaarden. Deze zijn in 2006 ook doorgevoerd in de Kustdatabase 2006 (MX.Systems, 16 juli 2004). Dit is de centrale database waar de gegevens van de zoute wateren in zijn opgeslagen. Dubbeltellingen in correcties moeten worden voorkomen. Toepassen van de 10% toeslag uit Tabel 11.5 zou een 2<sup>e</sup> keer corrigeren voor modelfouten betekenen!

*N.B. Voor de Waddenzee geldt dat er tot 2011 ontwerpwaarden in de HR stonden van toen de dijken in de vorige eeuw verzwaaard werden. Hier heeft een correctie volgens Tabel 11.5 geen fysische betekenis. Voor de Waddenzee moet de ontwerper dan ook de laatste berekeningen van de CR2011 opvragen.*

De gevoeligheid van de modeluitkomsten voor veranderingen in de aansturing (in mee te nemen stochasten en variaties in de modelinstellingen) is tot de WTI2011 maar beperkt onderzocht. Gevoeligheidsstudies in WTI2017 zullen meer duidelijkheid moeten gaan verschaffen.

#### 6.5 Beleidsonzekerheden

In deze paragraaf volgt een samenvatting van wat er in de Leidraden en Technische rapporten van de huidig vigerende ontwerpmethodologie te vinden is ten aanzien van beleid, wat van invloed is (of kan zijn) op de ontwerpbelastingen. Deze wordt aangevuld met nieuwe inzichten uit onder meer het OI.

Middels beleid wordt er een poging gedaan om te anticiperen op de toekomst, om dan ook veilig te kunnen zijn. Beleid raakt aan veel onzekere onderdelen. Allereerst is er een keuze die gemaakt wordt over de te verwachten natuurlijke variatie, zoals de te hanteren scenario's voor klimaat met de bijbehorende zeespiegelstijging, toename in afvoer e.d.

Daarnaast wordt er door menselijk handelen ingegrepen in de natuurlijke gang van zaken.

Dit betreft onder meer:

- PKB- Ruimte voor de Rivier
- Normering
- Streefpeil van de meren

- Afvoerverdeling
- Sluitingsregime stormvloedkeringen
- Ingrepen in de bodem.

Deze verschillende aspecten van beleidsonzekerheden zullen hieronder nader worden toegelicht.

*N.B. Alle onzekerheden in de aansturende grootheden (zie paragraaf 5.4) en in uitgangspunten t.g.v. beleid leiden tot een spreiding in de uitkomsten van de modellen.*

#### 6.5.1 Klimaatscenario's en zeespiegelstijging

Klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. Ze geven aan in welke mate temperatuur, neerslag, wind, etc. kunnen veranderen, bij een bepaalde mondiale klimaatverandering. Hierbij hoort ook een relatieve zeespiegelstijging<sup>13</sup> Hoe groot deze is, is vastgelegd in de diverse KNMI-studies (zoals (KNMI, 2014) en de voorlopers hiervan uit 2006 en 2001).

Over het te volgen scenario voor klimaatverandering voor in de ontwerpen staat in de verschillende Leidraden en het Nationaal Waterplan niet altijd hetzelfde. Maar veelal moet worden uitgegaan van een gemiddeld scenario. In de Leidraad Rivieren en de TROB gaat men uit van de WB21 scenario's die steeds **boven** de KNMI2006 scenario's liggen. Dit is dus conservatief en strookt niet met de aanbevolen KNMI2006 scenario's.

Deze KNMI2006 scenario's zijn inmiddels voorzien van een update. Er is in 2014 een vervangende studie opgeleverd (KNMI, 2014). Er zal moeten worden nagegaan wat de verschillen zijn ten opzichte van 2006, danwel 2001 en bepaald worden wat de impact is voor de belastingen. Hierna zal dan een keuze moeten worden gemaakt voor het te volgen scenario.

Het doel van de klimaatscenario's is om de verandering gedurende de planperiode mee te kunnen nemen in:

- rivierafvoer
- zee- en meerwaterstanden
- en gevolgen hiervan op lokale waterstanden en golfcondities

##### 6.5.1.1 Afvoeren

In de toekomst kan de maatgevende afvoer verder toenemen door klimaatveranderingen of andere veranderingen in het stroomgebied, zoals verandering van grondgebruik of maatregelen bovenstrooms in het stroomgebied van Rijn en Maas.

De waterstandsverhoging als gevolg van deze toenemende rivierafvoeren wordt deels tegengegaan met Ruimte voor de Rivier maatregelen (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, december 1999)(zie paragraaf 6.5.2.1). Hogere afvoeren betekent echter ook een peilverhoging in het gebied waar dit op uitkomt. Met het vast opgelegde meerpeil voor het IJsselmeergebied betekent dit dus dat spuien (onder vrij verval) mogelijk moet zijn op de Waddenzee.

Ook de basis verandert: er wordt volgens de huidig vigerende ontwerpmethodiek gerekend met maatgevende afvoeren met een piek in 2050 van 16.000 m<sup>3</sup>/sec voor de Rijn en 3800 m<sup>3</sup>/s voor de Maas voor 2015. bij een overschrijdingsnorm van 1/250 jr voor de Maas. Echter, met het OI2014 dat waar mogelijk aansluit op de WTI2017, zijn deze getallen verouderd. De laatste

<sup>13</sup> inclusief de geologische bodemdaling van het Noordzeebekken

inzichten met het GRADE model zullen echter moeten worden opgevraagd bij de Helpdesk Water.

*N.B. Hiermee zijn ook de verdelingen van de debieten bij zichtjaren 2050 en 2100 uit het rapport van de Deltacommissie Veerman overruled!*

Ook wordt verondersteld dat de Oosterscheldekering en Maeslantkering niet meer voldoen in 2100. Dit ligt in de lijn van de ontwerpscope van deze kunstwerken. Een aanpassing van deze keringen kan van belang worden voor andere achterliggende moeilijk uitbreidbare keringen, omdat voor deze keringen de ontwerpscope op 100 jaar wordt gesteld. (zie ook Bijlage 13K).

### 6.5.1.2 Zeespiegelstijging

De huidig vigerende leidraden baseren zich volgens het TROB en het Addendum voor Zee en Meerdijken op KNMI2006 scenario's, maar zijn hierin niet consistent in het te volgen scenario. Ter illustratie: In de TROB (p73) wordt, op het KNMI-scenario op foutieve wijze vergeleken met de WB21, wat leidt tot een zeespiegelstijging van 60cm tot 2100.

Verder gelden, volgens het addendum, de KNMI2006 klimaatscenario's: het G scenario voor het dijkontwerp en W voor de ruimtereservering, voor de meren. Voor Zee wordt geen uitspraak gedaan. Hiermee is deze werkwijze dus ver van consistent en transparant. Mocht een ontwerp dus volgens de oude methodiek zijn<sup>14</sup> dan is dit een groot punt van aandacht.

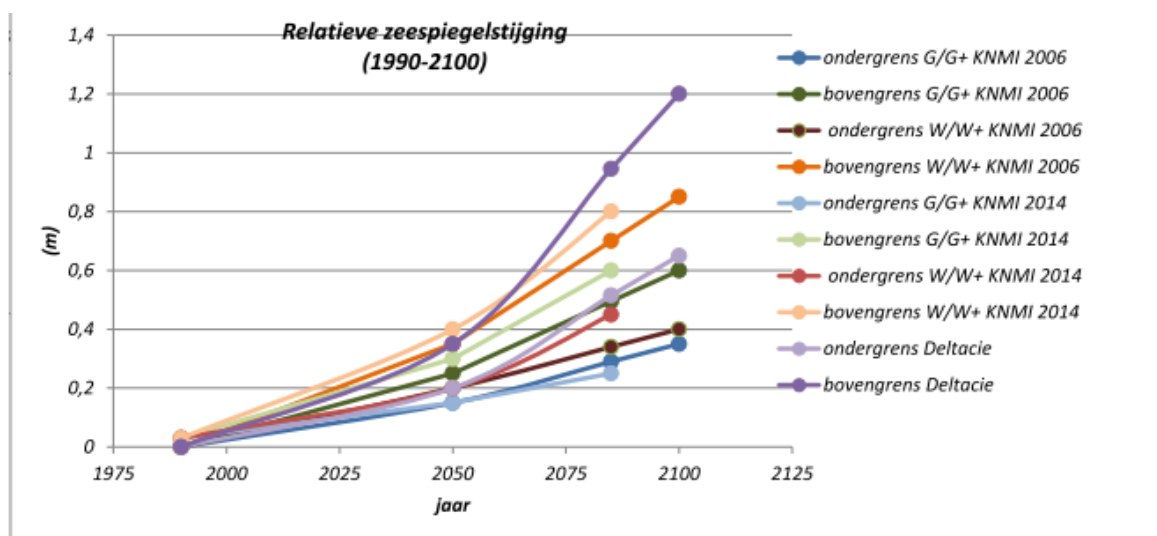
Voor nHWBP projecten (OI2014) wordt het W+ scenario uit KNMI2006 voorgeschreven (i.e. 35cm in 2050 en 85cm in 2100, irt 1990). Volgens KNMI2014 (KNMI, 2014) is de zeespiegelstijging tot 40 cm rond 2050, 80 cm rond 2085 en 100 cm rond 2100, irt 1990. Deze laatste stand der techniek is nog niet opgenomen in het OI van 2014.

*N.B. Als een ontwerp NIET UITBREIDBAAR blijkt, wordt er in (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, pp. 38, 70 & 71) aanbevolen een extremer klimaatscenario te kiezen. Echter met de Life Cycle Cost benadering is dat niet altijd nodig.*

*N.B. Voor KNMI-scenario's gevallen geldt: zit er een knik in de trend bij het jaar 2050 en bij 2100.*

Onderstaande figuur, Figuur 6.2, laat zien hoe het KNMI2006 scenario zich verhoudt tot die van de Commissie Veerman en die van het KNMI2014 (zie (KNMI, 2014)).

<sup>14</sup> Of nog worden ontworpen: dit strekt niet tot de aanbeveling ivm de veranderende toetsing na 2017.



Figuur 6.2 Advies zeespiegelstijging conform KNMI2006 en Deltacommissie Veerman (Deltacommissie) geëxtrapoleerd tot na 2100 en de verhouding tot KNMI2014 (zie (KNMI, 2014))

## 6.5.2 Ingrepen door menselijke handelen

### 6.5.2.1 PKB-RvR

In de PKB Ruimte voor de Rivier wordt rekening gehouden met een maximum van  $18.000 \text{ m}^3/\text{s}^{15}$  (zie ook het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied (TROB; ENW, 2007-a)), gebaseerd op het middenscenario voor klimaatontwikkeling in 2100. Voor de Maas is in een verkennende studie het maximum voorlopig vastgesteld op  $4.600 \text{ m}^3/\text{s}$ . Voor de WTI2017 geldt dat GRADE statistiek hoger gaat dan bovengenoemd maximum (voor hoge terugkeertijden).

Een nog hogere verhoging dan het maximum (of deze nu uit GRADE komt of uit de TROB) zal worden opgevangen met RvR maatregelen. Dit houdt in: het verleggen van de primaire keringen, het maken van by-passes zoals in Arnhem en Kampen en het aanwijzen van retentiegebieden in Nederland. Deze PKB-RvR maatregelen moeten worden verwerkt in de schematisatie van het te gebruiken waterbewegingsmodel. Deze zullen dan lagere waterstanden laten zijn bij gelijke afvoeren.

#### Retentie en overstroming

Bij retentie gaat het om het bewust onder water zetten van gebieden, om de top van de afvoergolf te verlagen. Het aanwijzen van retentiegebieden in Nederland is onderdeel van RvR. Zo ontlast Rijnstrangen de afvoergolf met ongeveer  $500 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Naast de al hierboven genoemde RvR is zijn ook de maatregelen of overstromingen in Duitsland, Frankrijk en België van invloed op de hoeveelheid water die in een gegeven periode in Nederland aankomt. De uitvoering van het beleid in die landen is van invloed voor de afvoerpiek in Nederland. In dat geval zal het beleid in Nederland mogelijk moeten worden aangepast.

<sup>15</sup> Let op! Dit maximum komt niet overeen met de laatste inzichten in de GRADE gebaseerde afvoerstatistiek. Vraag de laatste stand van zaken op bij de Helpdesk Water!

### 6.5.2.2 Norm

De normen zoals die nu gelden gaan naar verwachting in 2017 op de schop en zullen per gebied worden aangepast, en zijn dan niet meer gebaseerd op de economisch te beschermen waarde, maar op het Lokaal Individueel Risico (LIR). Iedere burger in Nederland is volgens deze LIR-systematiek even goed beschermd tegen overstromingen. Dat de normen veranderen is niet vreemd: de normen stamden nog uit de jaren zestig van de vorige eeuw en gebieden hebben zich sindsdien ook ontwikkeld. De exacte waarden voor de overstromingsnorm zijn nog op een aantal locaties onderwerp van discussie. Een voorlopig overzicht staat in het OI en is op te vragen via de Helpdesk Water.

Er zal met het LIR, worden overgestapt van de overschrijdingsnorm, naar overstromingskansnorm. Dit is een andere benadering die zich niet direct laat vergelijken met de oude methodiek. Kwantificeren van verandering is daarmee lastig. Daarom is het ook absoluut noodzakelijk om in een ontwerp óf te gaan voor het OI, óf als daar zeer goede redenen voor zijn (bijv het gaat om een aanpassing op een ontwerp van een al in uitvoering zijnde kering) voor de huidig vigerende methodiek.

*N.B. Mengvormen moeten NIET worden toegestaan. Bij het toepassen van bijvoorbeeld een overslagdebiet uit de overschrijdingsnorm bij een methodiek conform het OI2014 en dus de overstromingsnorm, leidt dit tot een te hoge overrobuuste, en daarmee te dure kering. Het omgekeerde effect zou overigens ook kunnen optreden, en daarmee leiden tot een niet robuuste kering.*

Een vergelijkende studie, een impactanalyse is in dat laatste geval zeer wenselijk, zo niet noodzakelijk, en wel om te voorkomen dat een net aangelegde kering na de toetsing met de WT12017 methodiek zou worden afgekeurd.

De verandering in norm heeft overigens vooralsnog geen gevolgen voor de werkwijze voor het bepalen van de dataset met belastingen. Daarmee zijn dan ook de oude HR-datasets onverminderd bruikbaar. Voor de bijdragen van de faalmechanismen zijn er wel veranderingen. Zo moet er een faalkansbegroting worden gemaakt. Meer hierover staat in het (Biemann & Kieftenburg, 2015). Deltares geeft hiervoor trainingen aan ontwerpers. Helpdesk Water kan hierbij verder helpen.

### 6.5.2.3 Streefpeil

Voor zowel de huidig vigerende ontwerpmethodiek als voor het OI2014 geldt een gelijk (winter)streefpeil voor het IJsselmeer. Het streefpeil in het IJsselmeer blijft tot 2050 gelijk aan het huidige winterstreefpeil. Dit meerpeil in het winterhalfjaar voor het IJsselmeer is NAP-0,4 m (Vlag, 16 december 2009, p. 51).

Door de zeespiegelstijging zal het steeds moeilijker worden water uit het IJsselmeer naar de Waddenzee te spuien en kan handhaving van het streefpeil in de toekomst weer moeilijker worden. Bovendien zal er door de adviezen van de commissie Veerman verandering in het IJsselmeerpeil komen als dit inderdaad als zoetwaterbuffer zal worden ingezet. Uitgangspunt voor beide werkwijzen is dat na 2050 het zal streefpeil meestijgen met de zeespiegelstijging.

Voor het Markermeer is er voor de beide ontwerpmethodieken een streefpeil dat relatief is gemaakt aan het IJsselmeerpeil. In het Addendum voor Zee- en meerdijken staat:

“Voor ontwerpen waarvan de planperiode 50 jaar (of korter) is, en waarvan de planperiode eindigt voor 1-1-2076 wordt 60% van de stijging van het wintermeerpeil op het IJsselmeer meegenomen op het Markermeer. Hiermee wordt aangesloten op de huidige situatie (huidige sturingsregime van de sluizen en gemalen van het Markermeer).

Voor alle overige ontwerpen is maatwerk noodzakelijk afhankelijk van de peilontwikkeling. Hierbij wordt als ondergrens een niet stijgend wintermeerpeil als bedoeld in het ontwerp Nationaal Waterplan d.d. 12 december 2008 aangehouden en als bovengrens het huidige sturingsregime.”

#### 6.5.2.4 Afvoerverdeling

De afvoerverdeling is beleidsmatig vastgelegd:

Bovenrijn => 63,5 % Waal	
=> 35,5 % Pannerdens Kanaal	=> 22,1 % Neder-Rijn/Lek
	=> 15,4 % IJssel

Daarnaast is beleidsmatig gekozen voor een zekere afvoerverdeling rond het splitsingspunt, bij het Pannerdens kanaal. Hier wordt met maatregelen inderdaad de natuurlijke verdeling kunstmatig beïnvloed. Dit heeft gevolgen voor de waterstand in de Delta en het meer hierachter, (indien van toepassing).

*N.B. In hoeverre dit haalbaar blijft is vooralsnog onbekend. Het is zaak voor RWS om dit te monitoren. Voor de gebruiker van dit handboek is dit slechts uitgangspunt.*

#### 6.5.2.5 Sluitingsstrategie stormvloedkeringen

In de delta wordt de waterstand bepaald door een combinatie van de zeespiegel en de afvoer. Deze kunnen elkaar versterken. Aan de zeezijde is de sluitingsstrategie van de keringen van groot belang voor het achterland in de delta. Hier kan het gebeuren dat storm en hoogwater samen optreden. In dat geval wordt de timing en de duur van de sluiting van de voorliggende kering van groot belang. Ook kan het sluiten van de kering voor hoog water van de zee- of meerzijde soms juist een opstuwend effect hebben voor de waterstand achter deze kering als de afvoer aanzienlijk is. Het is in dergelijke gevallen dus zaak om het sluiten van de kering niet langer dan nodig te laten plaatsvinden. Een juiste timing in de sluitingsstrategie is dus mede bepalend voor de robuustheid van het systeem van waterkeringen. Meer informatie hierover is te vinden in paragraaf 4.1.9. De kering kan hiernaast falen door (uitblijven van of juist niet) menselijk handelen en door problemen van technische aard.

Wanneer de keringen sluiten ligt vast. Dit is afhankelijk van het beleid in de zin dat een bepaald risico wordt geaccepteerd afhankelijk van de norm voor deze kering. (zie Tabel 4.1)

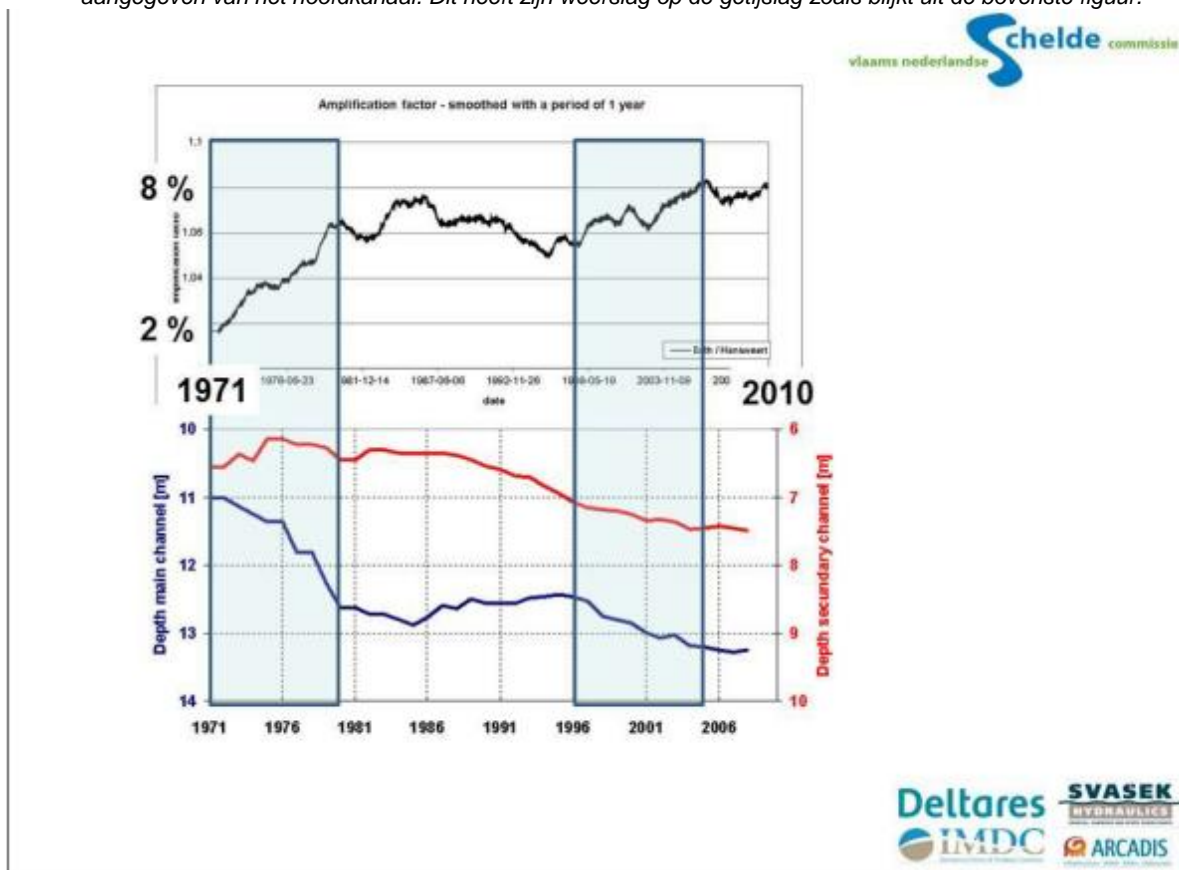
#### 6.5.2.6 Toekomstige ingrepen bodem

Voor de rivieren wordt met Ruimte voor de Rivier (RvR) ook op de bodem ingegrepen: er wordt geanticipeerd op de toekomst, met een grotere afvoer. Een opstuwung van de waterstand door enig obstakel zou in dat geval nabij dat obstakel tot een overschrijding van de dijkhoogte kunnen betekenen. Daarom worden in het kader van RvR verlagingen aangebracht in het winterbed en wordt de 'ruwheid van de bodem' gereduceerd.

Omwille van de scheepvaart wordt er in alle watersystemen gebaggerd. Dit heeft ook effect voor de waterstanden en de hoeveelheid en aard van de golven die in het gebied kunnen doordringen. Maar ook de verdieping in de Westerschelde, die met name de toppen van de ondieptes verlaagt, heeft een aanzienlijk effect: zo is door de verdieping zoals in de Westerschelde de getijslag verhoogd (zie Figuur 6.3), uit (Kieftenburg & Taal, 19 maart 2014).



Figuur 6.3 Ontwikkeling getij en geulen Hansweert-Bath, Westerschelde; in de blauwe kaders staat de verdieping aangegeven van het hoofdkanaal. Dit heeft zijn weerslag op de getijslag zoals blijkt uit de bovenste figuur.



## 6.6 Definitie van opslagen versus toeslagen

Opslagen worden gehanteerd voor (aspecten van) de fysica die niet zijn verdisconteerd in de toegepaste modellen en ook niet in de al zijn toegepast in de HR-dataset.

- ontwerpopslagen: deze nemen fysische processen mee die in de hydraulische randvoorwaarden of de modellering nog niet zijn meegenomen.

Hierbij valt te denken aan de opslag voor seiches of die voor buistoten (zie Tabel 6.1, onderaan)

Toeslagen zijn een soort van correctie op een toegepast model en zijn bijbehorende onzekerheden. Dit omvat een of meer correcties voor de onzekerheden uit het bovenste kader in Tabel 6.1.

De laatste stand van zaken voor de toe te passen (bulk)toeslagen conform het laatste OI (wat conform de uitleg in paragraaf 6.2 en 6.3 beter uitgesplitst kan worden en geen robuustheidstoeslag zou moeten heten, maar wel in het OI (nog) zo wordt genoemd) is op te vragen bij de Helpdesk Water. De laatste stand van zaken ten tijde van het uitkomen van dit rapport staat in (Bieman & Kieftenburg, 2015).

### 6.6.1 Hoogte van de fysische opslagen

De hoogte van fysische opslagen wordt afgeleid met modellen op basis van metingen of geschat met vuistregels. In het geval van vuistregels zal dit conservatief zijn.

### 6.6.2 Diverse andere gevonden toeslagen en aanwijzingen

In de leidraden zijn nog diverse andere toeslagen, minimale voorwaarden en aanwijzingen genoemd waar een dam of dijk aan moet voldoen. Deze zijn verwerkt in de lopende tekst in de leidraden.

Hierbij moet gedacht worden aan

- Dat in het rivierengebied er geen opwaaiing speelt bij het MHW.
- Dat als Ontwerphoogte -ontwerpwaterstand < 0,5 => er een waakhoogte van 0,5m moet worden aangehouden

## 6.7 Samengevat

Met de onderverdeling in onzekerheidsbronnen en opslagen kunnen de benodigde toeslagen voor norm- en operationele condities bepaald worden.

Tabel 6.1 Onzekerheidsbronnen en (ontwerp)opslagen

<b>onzekerheidsbronnen</b>	Modelonzekerheden	Onzekerheid waterstanden
		Onzekerheid golfcondities
	Beleidsonzekerheden	Klimaatscenario's
		Ruimtelijke ontwikkelingen
		Andere beleidskeuzes
	Onzekerheden in statistiek	Onzekerheden in extremen
		Onzekerheid in metingen
	Inherente onzekerheden	Natuurlijke variatie (met impliciet ook correcties voor metingen (zie paragraaf 6.2))
<b>(Ontwerp) opslag</b>	Fysische processen (alleen indien niet in model of HR meegenomen)	Scheepsgolven
		Buistoten, oscillaties
		Opwaaiing
		Translatiegolven

*N.B.1 Seiches die vaak in en adem wordt genoemd met oscillaties en buistoten worden apart afgeschat.*

*N.B.2 Buistoten en oscillaties worden ook genoemd in de HR! Het is zaak na te gaan of deze daadwerkelijk zijn meegenomen in de vigerende HR.*

De toeslagen die als doel hebben om robuustheid te creëren moeten verstandig (dus niet blind) worden toegepast. Als basis voor de ontwerpvoorwaarden worden veelal, en kan vaak, de

HR- dataset worden toegepast. Om nu dubbelingen te voorkómen, moet men zich dus verdiepen in wat er in het verleden allemaal in de HR-dataset al is meegenomen. Dit geldt voor alle soorten onzekerheden, maar ook voor toeslagen zoals die voor seiches. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met een verbeterde modellering sinds het moment van afleiden van de HR. Hiervoor is het ook nodig om in de gaten te houden hoe de belastingen verder doorwerken in de faalmechanismen (zie hoofdstuk 7).

Het stappenplan in het hoofdstuk 9 kan hiernaast helpen om dit alles zo consequent als mogelijk uit te voeren.

### 6.8 Stand van zaken d.d. 2015

Als het gaat om het toepassen van toeslagen zijn er een aantal documenten geschreven die aangeven welke getallen er gebruikt zouden moeten worden voor de diverse correcties en toeslagen. Deze documenten volgen grotendeels de leidraden maar houden veelal geen rekening met de zeer verschillende manieren van aanpak van de HR-datasets voor de verschillende gebieden. Ook bij de richtlijnen die worden toegepast binnen het nHWBP, het OI, is het dus verstandig om de richtlijnen niet rigide toe te passen maar de haken en ogen zoals geschetst in dit document te beschouwen.

*N.B. Het blind toepassen van de toeslagen biedt bovendien soms een schijnrobuustheid (zie volgend hoofdstuk) en leidt tot mogelijke dubbelcorrecties en dubbele toeslagen voor de gehele of een deel van de planperiode. Ook de fysische juistheid van een dergelijke correctie (op golfsteilheid, golfhoogte-diepte verhouding en op de vorm van het golfspectrum) zou gecontroleerd moeten worden.*

## 7 Relatie belastingen met faalmechanismen

### 7.1 Probleemschets

Een waterkering die ontworpen is volgens een zekere wettelijke norm, moet een belasting door het buitenwater die hoort bij deze norm op de kering (dam, dijk) kunnen weerstaan, voor alle bekende faalmechanismen. Waar het bij de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor een ontwerp van een waterkering om gaat, is om de juiste grootte van de belasting te kunnen geven, voor de normconditie, aan het einde van de planperiode. Hierbij hoort een zekere onzekerheid. Het inzicht in de onzekerheden uit het vorige hoofdstuk kan hierbij helpen. Wat echter ook belangrijk is, is hoe deze belasting inclusief toeslag voor de onzekerheden wordt toegepast in het ontwerp.

De werkwijze zoals deze staat in de huidige vigerende Leidraden op het moment van het schrijven van dit document is echter inconsistent van watersysteem tot watersysteem, inconsistent in terminologie en kan bovendien leiden tot schijnrobustheid. Maar ook de werkwijze uit het OI2014 garandeert nog geen fysisch bestaande golven (er zijn geen checks in H/d verhouding of op golfsteilheid) en is niet specifiek genoeg voor het altijd correct toepassen van de toeslagen. Leidt een (robustheids-)toeslag op de hydraulische belasting ook daadwerkelijk tot robustheid in het ontwerp<sup>16</sup>?. Dit hoofdstuk gaat op deze vraag in.

### 7.2 Resulterende belasting op keringen inclusief robuustheid en hun toepassing

Als eerste is het van belang voor de bepaling van de hydraulische belastingen om een goede inschatting te maken met de huidige stand der techniek. Bovendien moet er rekening worden gehouden met onzekerheden in de planperiode, zoals uitvoerig toegelicht in hoofdstuk 6. Maar waar het uiteindelijk om gaat is de toepassing van de Hydraulische ontwerpbelastingen. Een toepassing voor het toets- en ontwerpspoor 'hoogte' wordt hieronder nader toegelicht. Het voorbeeld voor het faalmechanisme Hoogte illustreert hoe de verschillende modellen, onzekerheden, en toeslagen samen komen.

#### Hoogte

In Figuur 7.1 is voor het toets- en ontwerpspoor Hoogte uitgewerkt hoe verschillende bijdragen resulteren in de uiteindelijk benodigde kruinhoogte voor het ontwerp van de dam of dijk.

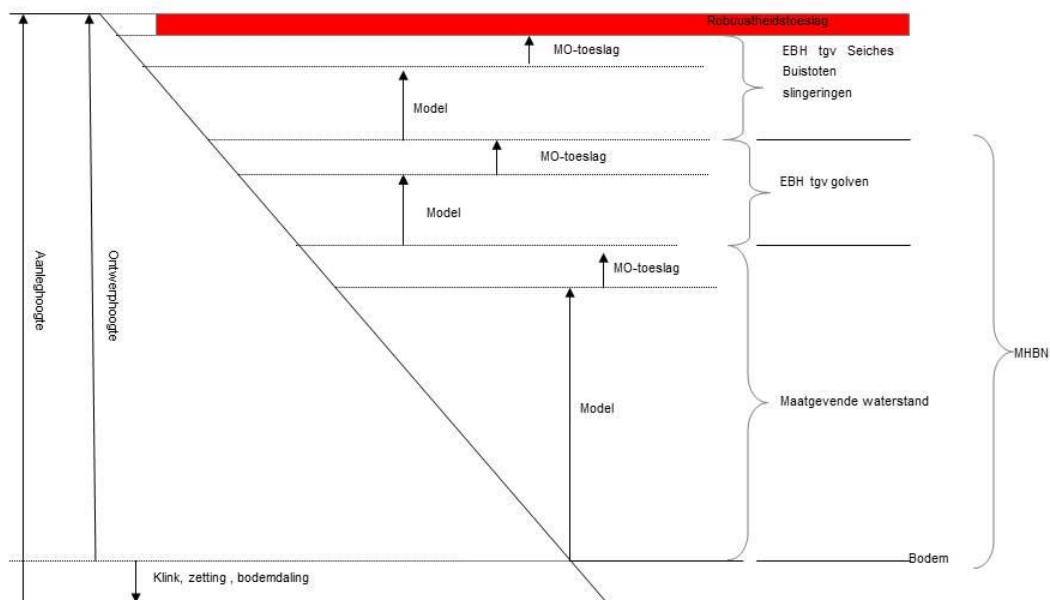
De basis is het waterniveau dat hoort bij de norm; voor watersysteem 'Zee' is dat het toetspeil. Voor rivieren wordt dit het Maatgevend Hoog Waterniveau genoemd. Hier aan ten grondslag liggen de basispeilen uit 1985. Deze zijn in de getallen uit het HR-boek met eventuele toeslagen behorend bij de norm van het beschouwde gebied.

Dergelijke waterstanden zijn ook uitgangspunt voor de golfberekeningen. De golven zorgen middels de faalmechanismen golfloop en -overslag voor een extra verhoging voor de aan te leggen of te verbeteren kering. De Extra Benodigde Hoogte (EBH), ten opzichte van de benodigde hoogte voor het MHW, komt uit het toepassen van de golfloop en -overslag op basis van de getallen in de HR.

In gebieden waar golven van belang zijn zullen Hydra-berekeningen leiden tot de zogenaamde Maatgevend Hydraulische Belastings Niveau (MHBN). Dit is de minimaal benodigde kruinhoogte, uitgaande van de maatgevende waterstand plus de (korte) golven met een taludhelling van 1 op 3. Dit is de maximaal toegestane helling. Dit geeft dus een bovengrens voor dijken met een andere geometrie.

Hierbovenop komen voor sommige gebieden ook nog de seiches, buistoten en slingeringen.

<sup>16</sup> Of in ieder geval geen afname van de robuustheid.



Figuur 7.1 Schematische weergave van samenstelling minimaal benodigde kruinhoogte

Daarnaast wordt bij het toets- en ontwerpspoor ‘hoogte’ rekening gehouden met wat de bodem en ondergrond doet *onder* het materiaal dat wordt aangebracht en het *materiaal zelf*. Deze vallen onder klink en zetting. Als laatste externe factor is ook bodemdaling nog van belang.

Het recept voor de bepaling van de hoogte voor het eerste ontwerp voor een waterkering is dus vrij eenvoudig. Steeds wordt er per mogelijke belastingsbron (zie hoofdstukken 3 en 4) een waarde uitgerekend met een model voor de normcondities (zie hoofdstuk 5). In het voorbeeld gaat dit dus om de maatgevende hoogwaterstand, de belasting door golven en de belasting door andere van belang zijnde zaken, in dit geval dus seiches, buistoten en slingeringen. Hier bovenop komt per toegepast model voor de betreffende belastingsbron een toeslag voor de modelonzekerheid (MO).

Met behulp van de inzichten in de spreiding en grootte van de diverse onzekerheden worden de marges duidelijk en kunnen de onder- en bovengrenzen van de verschillende soorten onzekerheden worden bepaald. Hiermee kunnen nu toeslagen worden gedefinieerd voor de belastingsparameters, en kunnen de onzekerheden verantwoord worden benoemd om later te worden verdisconteerd.

Als gezegd in hoofdstuk 6 is wat de ‘robustheidstoeslag’ heet is feitelijk een optelsom van diverse onzekerheden. Wil men een echt een stukje extra robustheid daarbovenop (zoals de term robustheid suggereert) dan zou men de toeslag die met rood aangegeven in Figuur 7.1 moeten toepassen.

*N.B.1 Uit Figuur 7.1 blijkt dat de toeslagen op de golfhoogte en -periode maar een klein onderdeel bijdragen van het geheel.*

*N.B.2 Per watersysteem moet natuurlijk worden gekeken in hoeverre de in deze figuur genoemde aspecten van belang zijn. (zie paragraaf 4.4).*

*N.B.3 In de Leidraden voor ontwerpen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007), (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007), (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, december 1999) en de bijbehorende addenda wordt uitgegaan van het MHBN voor de afleiding van de hoogte. Het MHBN moet worden berekend middels de Hydra-berekeningen, gegeven een maatgevende waterstand. In het resulterende MHBN zit dan dus al het faalmechanisme golfoploop en -overslag verwerkt.*

### Samenhang met de andere onzekerheden

De samenhang met andere onzekerheden wordt uitgelegd aan de hand van hoe wordt omgegaan met de ZeeSpiegelStijging (ZSS).

Zeespiegelstijging in een zeker gebied wordt natuurlijk verdisconteerd in de waterstand. Via de uiteindelijk resulterende maatgevende waterstand is deze dan ook meegenomen in het golfvoorspellingsmodel en daarna in de andere modellen voor buistoten, seiches en slingeringen. Echter de ZSS zelf is op zichzelf al helemaal niet zeker. Immers die is afhankelijk van de beleidskeuze over met welk klimaatscenario rekening moet worden gehouden (= beleidsonzekerheid = BO). Deze BO is dus waar mogelijk verwerkt

#### Omgaan met onzekerheden

Strikt genomen zouden ook statistische onzekerheden apart moeten worden bepaald en hierbij opgeteld. Hiervoor is meer aandacht in de WTI voor 2017 (RWS, 2017). Dus de opmerking in de TROB (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007) over het meenemen van statistische onzekerheden in de robuustheidtoeslagen heeft vooralsnog geen invulling kunnen krijgen. Het is het hiernaast raadzaam om deze onzekerheden apart te bezien en te beschouwen hoe deze doorwerkt in de grenstoestandsfunctie (i.e.  $Z=0$  in Figuur 7.1) in combinatie met de modelonzekerheidstoeslag. Dit is namelijk een typisch geval waarbij de verschillende effecten van toeslagen niet altijd meer lineair bij elkaar zijn op te tellen.

in de modellen, en wel in de aansturing voor de waterstanden. Ook de statistische onzekerheid door de opschaling naar extremen, is verwerkt in de aansturing van de modellen en wel in het te beschouwen aansturingsdomein.

De inherente onzekerheid wordt uitgedrukt in de variantie van het model en is verdisconteerd in de modelcorrectie, die weer is afgeleid uit met verificatie met metingen die natuurlijk liggen binnen het meetbereik. Op deze wijze kan er onderbouwd robuustheid worden toegevoegd aan de belastingsparameters.

Met dit inzicht kan vervolgens worden verder gewerkt in de doorwerking in de faalmechanismen.

### 7.3 Doorwerking in de faalmechanismen

Het kennen van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden en de bijbehorende onzekerheden is slechts een eerste stap. Deze ontwerprandvoorwaarden zijn immers slechts een tussenresultaat in het ontwerpproces. Ze worden immers toegepast in alle bekende faalmechanismen. De resulterende robuustheid en de uitwerking van alle verschillende componenten hiervan op een ontwerp van een kering kan pas worden gegarandeerd als er bekend is hoe de diverse onzekerheden doorwerken op de belastingsparameters en hoe die op hun beurt weer doorwerken in de faalmechanismen.

Het blind doorvoeren van de robuustheidstoelagen kan leiden tot:

- Fysisch onmogelijke (bijvoorbeeld te steile of niet bij de lokale diepte passende) golven, of een niet realistische vorm van het golfspectrum.<sup>17</sup>
- Dubbeltellingen, omdat bijv. ook in de HR- dataset al toelagen of correcties zijn verwerkt!
- Een onderschatting in faalmechanisme.

Om te weten hoe onzekerheden in de belasting de toetsing beïnvloeden wordt ingezoomd op de faalmechanismen. Een ontwerp moet immers voor alle faalmechanismen met een voldoende worden beoordeeld bij een toetsing.

Alle faalmechanismen worden beschreven met de zogenaamde Z-functie. Deze Z-functie geeft de grenstoestand aan tussen falen en niet falen van de kering voor het betreffende faalmechanisme. Eenvoudig gesteld kan worden dat  $Z = \text{sterkte} - \text{belasting}$ . Als de belasting dus groter is dan de sterkte, dus  $Z < 0$ , dan faalt de kering, voor het betreffende faalmechanisme.

Er zijn dus in principe evenveel Z-functies als er faalmechanismen worden onderkent. Echter per faalmechanisme kunnen er verschillende beschrijvingen zijn, afhankelijk of de beschrijving voldoet aan de eenvoudige, gedetailleerd of de geavanceerde 'op maat' beschrijving van het mechanisme. Ook bij alle niveaus horen andere formules, die lang niet altijd in expliciete vorm geschreven zijn, en waar de belastingsparameters niet direct zichtbaar zijn. Er mag echter wel van uit worden gegaan dat de vorm van samenhang niet extreem veranderd van eenvoudig, via gedetailleerd naar toets op maat, en ook dat de marge met meer detail kleiner wordt. De verschillende niveaus brengen immers alleen een verfijning aan, wat zorgt voor een scherpere toetsing.

Strikt genomen is er dus niet één Z-functie (grenstoestandsfunctie<sup>18</sup>) per faalmechanisme, maar zijn er (minimaal) drie verschillende, nl die van de verschillende niveaus van de toetsing:

- eenvoudig
- gedetailleerd
- toets op maat met geavanceerde analyse.

Dit laatste toetsniveau is, zoals de beschrijving al zegt, een toets op maat. Hier kunnen lokale kennis en omstandigheden een rol spelen. Daarom is deze ook niet op voorhand voor alle waterkeringen uit te werken, of in ieder geval niet volledig.

De formulering wordt steeds preciezer van toetsniveau 1 naar 3. De eenvoudige formulering geeft bij de toetsing de snelste eerste indruk en is het minst scherp. Als uitgangspunt bij het ontwerp geeft deze derhalve de meeste marge, de meeste robuustheid. Bij het toepassen van een geavanceerde

### Fout in leidraden

Wat nu in het Addendum voor zee- en meerdijken als robuustheidstoelage is benoemd zijn feitelijk modelcorrecties. Deze zijn dus echter al, als het goed is toegepast in de HR-dataset.

Het toepassen als beschreven in het addendum levert dus als eerste een dubbeltelling op.

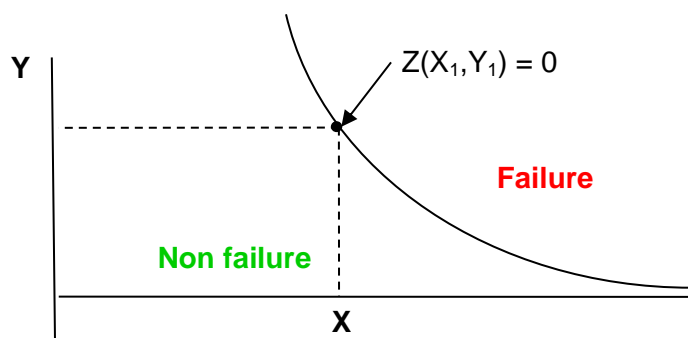
Bovendien wordt geen rekening gehouden met hoe de toeslag (al was ie correct) doorwerkt.

Uit paragraaf 7.3 zal blijken dat een positieve toeslag op de periode voor betonzuilen een afname in robuustheid met zich meebrengt als  $\xi_n > 2$ .

<sup>17</sup> Let op! In (Bieman & Kieftenburg, 2015) is er voor gekozen om na het toepassen van toelagen wel te controleren op fysisch realisme, deze te markeren, maar deze niet aan te passen. In de praktijk van PBZ vond deze correctie wel plaats. Hoe deze is toegepast staat in het 'kookboek' (Svašek Hydraulics / Royal Haskonning, 23 februari 2011).

<sup>18</sup> Een grensfunctie beschrijft de grens tussen falen en niet falen voor een faalmechanisme.

formulering voor het ontwerp is er dus de kleinst mogelijke marge, een lagere robuustheid te verwachten. Dit kan van belang zijn als er kosten moeten worden bespaard, of als er ruimtegebrek is voor een bredere, hogere kering bijvoorbeeld.



Figuur 7.1 Illustratie van een faalmechanisme en de Z-functie. X en Y zijn stochasten die de belasting beschrijven. De Z-functie is de beschrijvende kromme die de grenstoestand tussen falen en niet falen aangeeft

Het is de beschrijving van de Z-functie die bepaalt hoe de toepassing van de Hydraulische (ontwerp-) randvoorwaarden doorwerken. Deze Z-functies zijn het resultaat van jaren onderzoek aan faalmechanismen, en hun beschrijvingen kunnen zeer complex zijn. Het toepassen van en de doorwerking van de hydraulische ontwerpvoorwaarden met onzekerheden is dus niet zo rechttoe rechtaan als het huidige ontwerpinstrumentarium (OI2014) doet voorkomen.

Voor verschillende faalmechanismen zijn de formules tegen het licht gehouden (zie memo's in Bijlage G). Hieronder volgt een samenvattende tabel die aangeeft voor verschillende faalmechanismen hoe de grensfunctie tussen falen en niet falen met de belastingsparameters samenhangt. De tabel laat zien per faalmechanisme hoe welke parameter een rol speelt in de toetsing. Daaruit is op te maken hoe onzekerheden doorwerken in dit faalmechanisme.

Omdat de vorm van de Z-functie per beschrijvend faalmechanisme kan verschillen, zal bij een gelijke basis voor de Hydraulische ontwerpcondities een toeslag dus ook anders doorwerken. Voor een extra robuustheid tgv toeslagen voor een gelijke hydraulische ontwerpvoorwaarde, zal deze per Z-functie apart moeten worden beschouwd. Het kan daarbij zijn dat een periodemaat juist niet met 10%<sup>19</sup> moet worden verhoogd, maar juist worden verlaagd. Het idee van één vaste robuustheidstoeslag, zoals gesuggereerd in het Addendum Zee- en meerdijken (Ministerie van

#### Onduidelijke bron voor waarde toeslag

In het Addendum voor Zee en meerdijken (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 25 maart 2009) maar ook de documenten die hier weer mee verder gaan, wordt steeds een getal genoemd van 10% voor zowel de toeslag van de golfhoogte als de - periode. Waar deze hun oorsprong vinden, is niet vermeld, maar het heeft er alle schijn van dat deze 10% eigenlijk de benodigde modelcorrectie voor de HR2006 betreft.<sup>17</sup>

<sup>19</sup> De 10% is afkomstig uit (RWS, 2009) en komt getalsmatig overeen met die in het OI2014 (Deltares, augustus 2014).

N.B. Feitelijk zou dit een samenstelling moeten zijn van de variantie van de modelonzekerheid en de variantie van de statistische onzekerheid en de varianties van de andere onzekerheden.



Verkeer en Waterstaat, 25 maart 2009), voor de meren, geeft niet het beoogde robuuste effect.

<b>Golfoploop</b>		
<b>Definitie</b>		
Van het (RWS-DWW, mei 2002),bladzijden 8 en 9, de algemene formule die kan worden toegepast voor golfoploop op dijken wordt gegeven door:		
$\frac{Z_{2\%\_ref}}{H_{m0}} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0$		
Met een maximum voor grotere van:		
$\frac{Z_{2\%\_max}}{H_{m0}} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left( 4,3 - \frac{1,6}{\sqrt{\xi_0}} \right)$		
Daarvoor:		
$Z_{2\%} = \min(Z_{2\%\_ref}, Z_{2\%\_max})$		
<b>Gedetailleerde uitbreiding</b>		
Op basis van de gedetailleerde berekeningen beschreven in <i>Bijlage Golfoploop</i> , de bovenstaande formules kan geschreven worden als:		
$Z_{2\%} = \min \left( c_1 \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0}, c_2 \cdot H_{m0} - c_3 \cdot H_{m0} \cdot \sqrt[4]{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_{m-1,0}}} \right)$		
$\text{met } c_1 = 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}}$		
$c_2 = 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta$		
$c_3 = 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2\pi}{g}}$		
<b>Symbolen</b>		
$Z_{2\%}$	2% golfoplooppniveau boven de stilwaterlijn	[ m ]
$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
$\gamma_b$	Invloedsfactor voor een berm	[ - ]
$\gamma_f$	Invloedsfactor voor ruwheid op het talud	[ - ]
$\gamma_\beta$	Invloedsfactor voor scheve golfaanval	[ - ]
$\xi_0$	Brekerparameter: $\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[ - ]
$\alpha$	Hoek van het talud	[ ° ]
$s_0$	Golfsteilheid: $s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[ - ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]
$g$	Versnelling van de zwaartekracht	[ m/s <sup>2</sup> ]

Tabel 7.2 Samenhang tussen grenswaardefuncties voor de golfoploop faalmechanisme en de afhankelijkheid van golfhoogte en periodemaat.

**Golfverslag****Definitie**

De golfverslag kan in twee formules worden beschreven die op elkaar aansluiten.

Eén voor brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 < \approx 2$ ), waarbij de golfverslag toeneemt bij de toenemende brekerparameter  $\xi_0$  en één voor het maximum dat wordt bereikt bij niet-brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 > \approx 2$ ).

De volledige formules zijn:

- Voor brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 < \approx 2$ ):

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

- Voor niet brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 > \approx 2$ ):

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right)$$

**Gedetailleerde uitbreiding**

Op basis van de gedetailleerde berekeningen beschreven in *Bijlage Golfverslag*, de bovenstaande formules kan geschreven worden als:

- Voor brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 < \approx 2$ ):

$$h_k = c_1 \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0} \cdot \ln\left(c_2 \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot T_{m-1,0}}\right)$$

$$\text{met } c_1 = -\frac{1}{4.3} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v \text{ en } c_2 = \frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{g} \cdot q$$

- Voor niet brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 > \approx 2$ ):

$$h_k = c_3 \cdot H_{m0} \cdot \ln\left(c_4 \cdot \frac{1}{\sqrt{H_{m0}^3}}\right)$$

$$\text{met } c_3 = -\frac{1}{2.3} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \text{ en } c_4 = \frac{1}{0.2} \cdot \frac{q}{\sqrt{g}}$$

**Symbolen**

q	gemiddeld golfverslagdebiet (gegeven een vast toegestaan overslagdebiet van 0,1 l/s/m.)	[ l/m per s ]
H <sub>m0</sub>	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
γ <sub>b</sub>	Invloedsfactor voor een berm	[ - ]
γ <sub>f</sub>	Invloedsfactor voor ruwheid op het talud	[ - ]
γ <sub>β</sub>	Invloedsfactor voor scheve golfaanval	[ - ]
γ <sub>v</sub>	Invloedsfactor voor een verticale wand op het talud	[ - ]
h <sub>k</sub>	vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn	[ m ]

$\xi_0$	Brekerparameter $\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[ - ]
$\alpha$	Hoek van het talud	[ ° ]
$s_0$	Golfsteilheid: $s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[ - ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]
$g$	Versnelling van de zwaartekracht	[ m/s <sup>2</sup> ]

Tabel 7.3 Samenhang tussen grenswaardefuncties voor de golfoverslag faalmechanisme en de afhankelijkheid van golfhoogte en periodemaat.

Algemene formule voor steenzettingen, invloed van lange golven op de stabiliteit van de toplaag		
Definitie		
Blokken	Betonzuilen	Losse breuksteen
<p>Volgens (Klein Breteler, Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities, 21 oktober 2009) en (Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig, 23 februari 2011, pp. deel 3, Bijlage 1.1) de dikte toplaag <math>\Delta D</math> voor (gekantelde) betonblokken is als volgt gedefinieerd:</p> $\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot \xi_0^{-\frac{2}{3}}$ <p>De uitdrukking <math>\frac{H_{m0}}{\Delta D}</math> is genoemd de stabiliteit parameter.</p>	<p>Volgens (Klein Breteler, Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities, 21 oktober 2009) moet de Z-functie voor betonzuilen in twee verschillende takken worden opgedeeld, namelijk een tak waarbij <math>\xi_0 \leq 2</math> en een tak waarbij <math>\xi_0 &gt; 2</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Criterium <math>\xi_0 \leq 2</math></b></li> </ul> $\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot \xi_0^{-\frac{1}{3}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Criterium <math>\xi_0 &gt; 2</math></b></li> </ul> $\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot 2^{-\frac{1}{3}} - 1 + \frac{\xi_0}{2}$	<p>Losse breuksteen kan zowel op het talud als de kreukelberm worden toegepast. De vereenvoudigde Z-functie is afgeleid met behulp van:</p> $Z = \Delta D_{n50} = H_{m0}^{0.75} \cdot T_{m-1,0}^{0.4}$
Gedetailleerde uitbreiding		
<p>Op basis van de gedetailleerde berekeningen beschreven in <i>Bijlage Bekledingen</i>, de toplaagdikte heeft de volgende form:</p> $\Delta D = c_1 \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}}$ <p>met <math>c_1 = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{g}{2\pi}}</math></p> $= \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot 1.16$	<p>De gedetailleerde uitbreiding van de formules is:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Criterium <math>\xi_0 \leq 2</math></b></li> </ul>	-niet van toepassing-

<p>En de stabiliteit:</p> $\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{H_{m0}}{c_1 \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}}}$ $= \frac{1}{c_1} \cdot \left( \frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2} \right)^{\frac{1}{3}}$	$\Delta D = c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (H_{m0})^{\frac{5}{6}}$ <p>met <math>c_2 = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt[6]{\frac{g}{2\pi}}</math></p> $= \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot 1.0771$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Criterium</b> <math>\xi_0 &gt; 2</math></li> </ul> $\Delta D = \frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}$ <p>met <math>c_3 = F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1</math></p> $c_4 = \frac{1}{2} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}}$ <p>En de stabiliteit:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Criterium</b> <math>\xi_0 \leq 2</math></li> </ul> $\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{1}{c_2} \cdot \left( \frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2} \right)^{\frac{1}{6}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Criterium</b> <math>\xi_0 &gt; 2</math></li> </ul> $\frac{H_{m0}}{\Delta D} = c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)$	
<b>Symbolen</b>		
$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
$\Delta D$	Dikte toplaag	[ m ]
$F$	Constructie afhankelijke constante	[ - ]
$\xi_0$	Brekerparameter: $\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[ - ]
$\alpha$	Hoek van het talud	[ ° ]
$s_0$	Golfsteilheid: $s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[ - ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]
$g$	Versnelling van de zwaartekracht	[ m/s <sup>2</sup> ]

Tabel 7.4 Samenhang tussen grenswaardefuncties voor de invloed van lange golven op de stabiliteit van de toplaag faalmechanisme en de afhankelijkheid van golfhoogte en periodemaat.

Met de tabel kan beschouwd worden of toeslagen het gewenste effect hebben en in welke mate, en hoe de combinatie van toeslagen op zowel de golfhoogte als de periode doorwerkt. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar Bijlage G.

Aan de hand van het voorbeeld voor Steenbekledingen-Betonzuilen zal in paragraaf 7.3.2 worden getoond dat het toepassen van één vaste robuustheidstoeslag voor alle faalmechanismen, geen en soms een averechts effect kan hebben voor een faalmechanisme in de zin dat de toeslag juist leidt tot een minder streng en niet optimaal ontwerp (zie paragraaf 7.3.2.6).

Algemene formule voor asfaltbekledingen		
<b>Definitie</b>		
$Z = H_{m0}^{\frac{10}{4}}$		
<b>Gedetailleerde uitbreiding</b>		
Het aantal golfklappen speelt hier een rol. (zie (Waal & Paverd, 22 maart 1999)). Niet in formulevorm gevonden.		
<b>Symbolen</b>		
$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]

Tabel 7.5 Samenhang tussen grenswaardefuncties voor asfalt en de afhankelijkheid van golfhoogte en periodemaat.

Een ander voorbeeld van een averechts effect van de toeslag geldt voor asfaltbekleding (zie Tabel 7.5). Bij de eenvoudige methode wordt daar alleen maar de  $H_{m0}$  gebruikt; dus is er geen invloed van de golfperiode. Bij de gedetailleerdere methode echter neemt men het aantal golfklappen in acht bij de hydraulische belasting, en dus is de periodemaat daar wel van belang (zie (Waal & Paverd, 22 maart 1999)). Echter na de toeslag resulteert er een langere periode dus worden er minder golfklappen genereert.

### 7.3.1 Rol van toetsen in het ontwerpproces

Voor het ontwerp worden voor de bepaling van de belastingen dezelfde faalmechanismen gebruikt als voor de toetsing. Hierbij kan men dan ook gebruik maken van dezelfde 3 niveaus als voor het toetsen. Soms worden de eenvoudige formules gebruikt, soms gedetailleerde. Maar voor welk niveau formule er ook wordt toegepast geldt: het resultaat moet door de toetsing komen. Dit kan op zijn beurt weer de eenvoudige toets zijn, maar ook de gedetailleerde toets.

Hiervan kan gebruik worden gemaakt bij een ontwerp: als de robuustere variant van een kering uit de eenvoudige aanpak niet past in de beschikbare ruimte of het beschikbare budget, kan er een meer gedetailleerd ontwerp worden gemaakt. Deze zal dan ook door de gedetailleerde toets of de toets op maat moeten komen.<sup>20</sup>

### 7.3.2 Voorbeeld voor steenbekleding: betonzuilen

In deze paragraaf komt ter illustratie het toets- en ontwerpspoor aan bod voor betonzuilen waarmee gevoel kan worden ontwikkeld voor het op een juiste wijze toepassen van toeslagen. Voor meer detail, maar ook voor andere voorbeelden wordt verwezen naar Bijlage G.

<sup>20</sup> Naar verwachting zal de eenvoudige toets immers geen 'voldoende' oordeel opleveren, deze toetst immers minder scherp.

Volgens (Klein Breteler, Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities, 21 oktober 2009) moet de Z-functie voor betonzuilen in twee verschillende takken worden opgedeeld, namelijk een tak waarbij  $\xi_0 \leq 2$  en een tak waarbij  $\xi_0 > 2$ .

Dit komt uiteindelijk neer op:

- **Criterium**  $\xi_0 \leq 2$

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot \xi_0^{-\frac{1}{3}} \quad (\text{Vgl. 7.1})$$

- **Criterium**  $\xi_0 > 2$

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot 2^{-\frac{1}{3}} - 1 + \frac{\xi_0}{2} \quad (\text{Vgl. 7.2})$$

### 7.3.2.1 Gedetailleerde berekeningen criterium

De uitwerking van formule Vgl. 7.3 laat duidelijk zien hoe de Z-functie (i.e. hier de formule voor de steendikte) en de stabiliteit van de steenzetting samenhangen met de belasting parameters.

De dikte toplaag van betonzuilen voor  $\xi_0 \leq 2$

$$\Delta D = c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (H_{m0})^{\frac{5}{6}}$$

En voor de stabiliteit:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{H_{m0}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (H_{m0})^{\frac{5}{6}}} = \frac{H_{m0}^{\frac{1}{6}}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}}} = \frac{1}{c_2} \cdot \left( \frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2} \right)^{\frac{1}{6}}$$

### 7.3.2.2 Gedetailleerde berekeningen Criterium $\xi_0 > 2$

De uitwerking van formule Vgl. 7.4 geeft het volgende eindresultaat voor de steendikte.

$$\Delta D = \frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}$$

$$\text{met } c_3 = F \cdot 2^{-\frac{1}{3}} - 1 \text{ en } c_4 = \frac{1}{2} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}}$$

Voor de stabiliteit is dit:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}$$

Het blijkt dus dat voor  $\xi_0 > 2$  de Z-functie, de steendikte, omgekeerd evenredig is met de periodemaat.

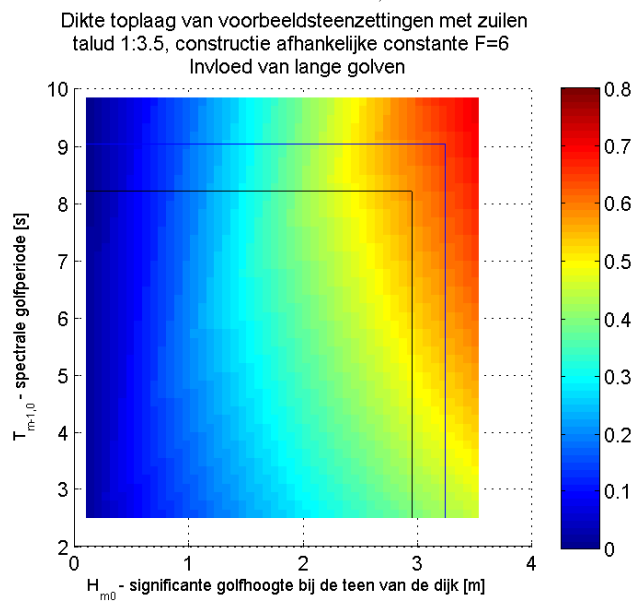
### 7.3.2.3 Visualisatie faalmechanisme

Onder onderstaande veronderstellingen, kan de bovenstaande formules als volgt worden gevisualiseerd:

Tabel 7.6 Veronderstellingen

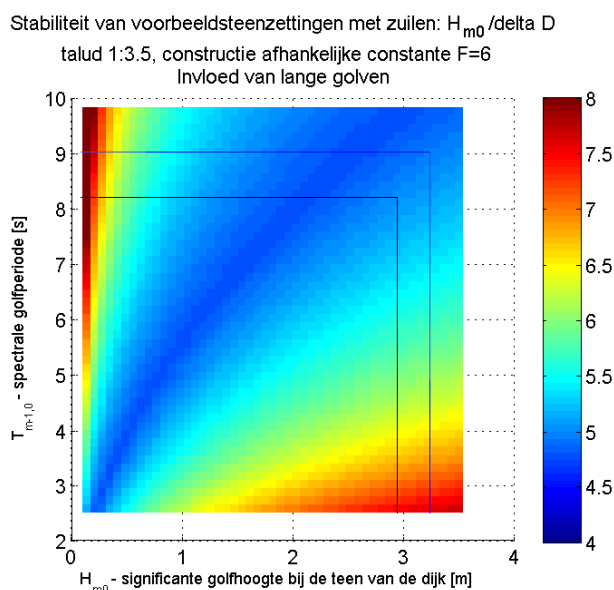
Symbool	Waarde
$F$	6
$\tan \alpha$	1/3.5
$\pi$	3.1416
$g$	9.81

In Figuur 7.2, de zwarte lijn geeft de  $\Delta D$  waarde die overeenkomt met de maximale waarde van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . De blauwe lijn geeft de  $\Delta D$  waarde als gevolg van een stijging van 10 procent van het maximum van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .



Figuur 7.2 Dikte toplaag voor steenzettingen met zuilen

En voor de stabiliteit ziet dit er als volgt uit:



Figuur 7.3 Stabiliteit voor steenzettingen met zuilen

#### 7.3.2.4 Visualisatie effect faalmechanisme bij verhoging van 10% van $H_{m0}$ en $T_{m-1,0}$

In deze paragraaf wordt het effect van het toepassen van de in de verhoging van 10% van  $H_{m0}$  én  $T_{m-1,0}$  geïllustreerd.

Voor  $\xi_0 \leq 2$  levert dit:

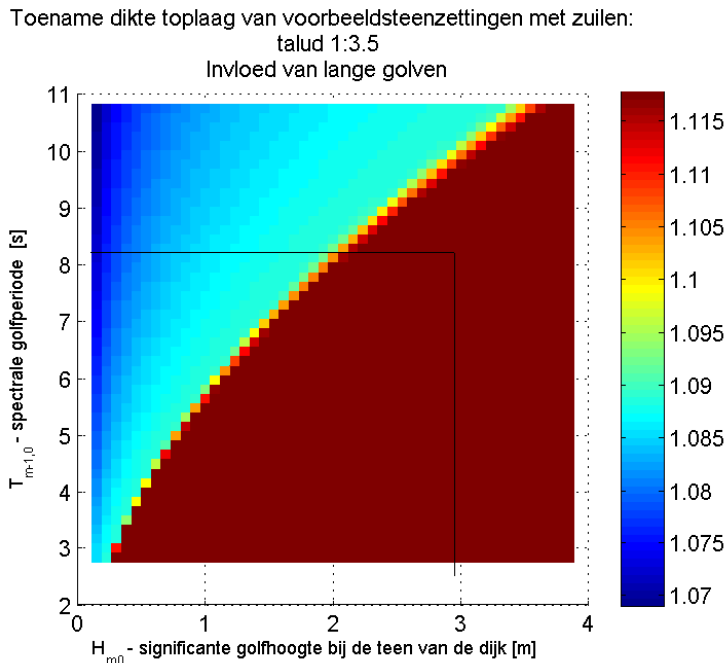
$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\Delta D} = \frac{c_2 \cdot (1.1 \cdot T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (1.1 \cdot H_{m0})^{\frac{5}{6}}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (H_{m0})^{\frac{5}{6}}} = 1.1^{\frac{1}{3} + \frac{5}{6}} = 1.1^{\frac{7}{6}} = 1.1176 \text{ voor het donker-}$$

rode gebied in Figuur 7.3.

In het blauwe gebied, is de relatieve toename afhankelijk van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .

$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\Delta D} = \frac{\frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}}{1.1 \cdot H_{m0}} = \frac{1}{1.1} \cdot \frac{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{1.1 \cdot T_{m-1,0}}{\sqrt{1.1 \cdot H_{m0}}} \right)}$$





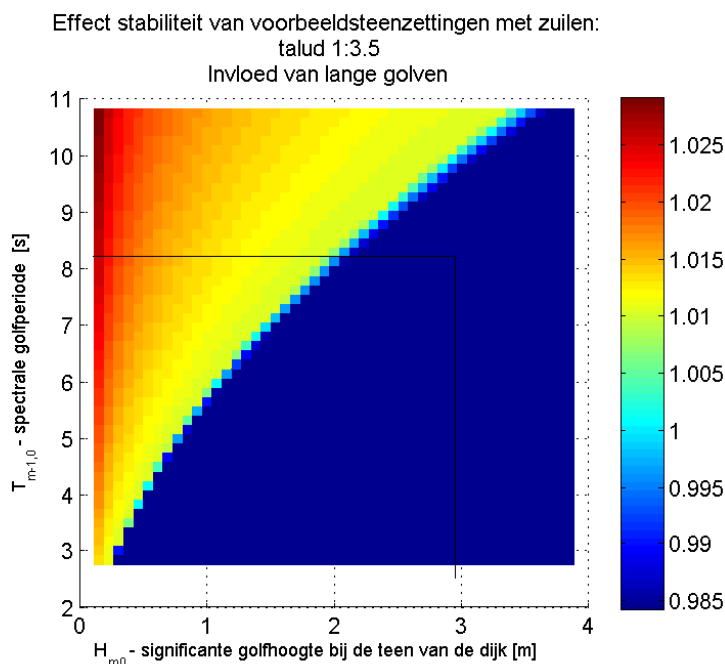
Figuur 7.4 Relatieve toename dikte toplaag voor steenzettingen met zuilen ;  $H_{m0}$  is verhoogd met 10% en  $T_{m-1,0}$  is ook verhoogd met 10%

Samengevat:

Voor steenzettingen met zuilen, voor  $\xi_0 \leq 2$  resulteert de verhoging van 10% van  $H_{m0}$  én  $T_{m-1,0}$  altijd in een relatieve toename van de dikte toplaag, en wel tussen [1.0689, 1.1176] voor alle  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  (zie Figuur 7.4).

Het maximum ligt hier in het gebied rechtsonder, i.e. in het gebied waar  $\xi_0 \leq 2$ .

We kunnen een vergelijkbaar patroon voor de relatieve toename voor stabiliteit in Figuur 7.5 zien, ware het niet dat de stabiliteit dus juist afneemt door de positieve toeslagen voor  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . Bovendien blijkt juist daar waar de steendikte het meest toeneemt de stabiliteit juist af te nemen.



Figuur 7.5 Relatieve effect stabiliteit voor steenzettingen met zuilen toen  $H_{m0}$  is verhoogd met 10% en  $T_{m-1,0}$  is ook verhoogd met 10%

### 7.3.2.5 Visualisatie effect faalmechanisme bij verhoging van 10% van $H_{m0}$ en $T_{m-1,0}$ vermindering van $T_{m-1,0}$ van 10%

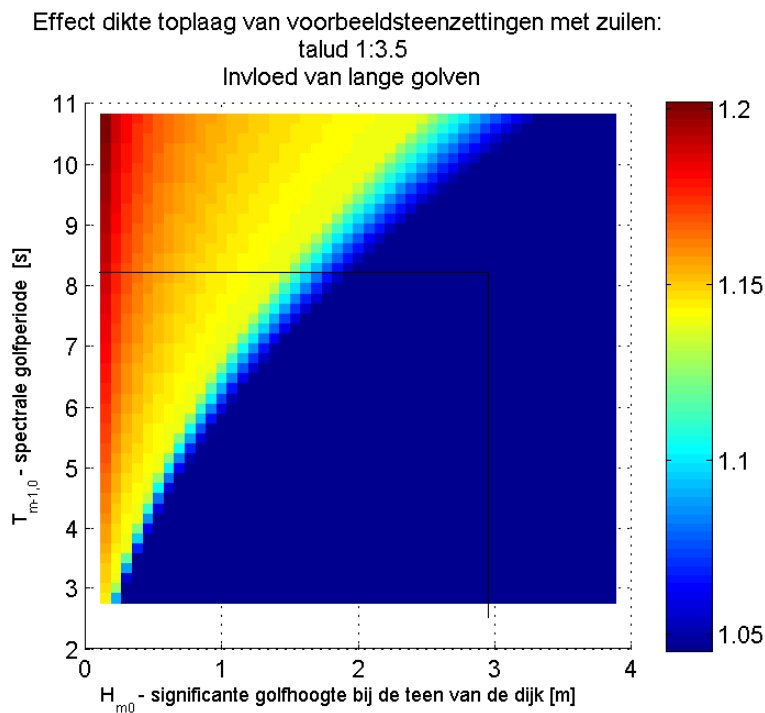
In de volgende figuren wordt het effect van het toepassen van de in de verhoging van 10% van  $H_{m0}$  én vermindering van 10% van  $T_{m-1,0}$  geïllustreerd.

Voor  $\xi_0 \leq 2$  levert dit:

$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ toegenomen en } T_{m-1,0} \text{ vermindert}}}{\Delta D} = \frac{c_2 \cdot (0.9 \cdot T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (1.1 \cdot H_{m0})^{\frac{5}{6}}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (H_{m0})^{\frac{5}{6}}} = 0.9^{\frac{5}{6}} \cdot 1.1^{\frac{5}{6}} = 1.0453 \quad \text{voor het}$$

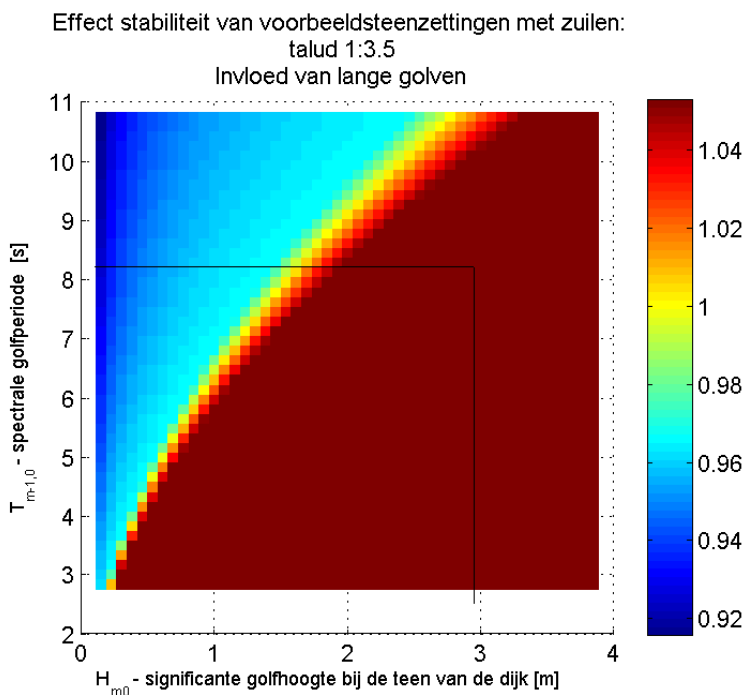
donker blauwe gebied in Figuur 7.6.

In dit geval ligt de maximale toename van de steendikte juist aan de andere kant en neemt voor het gebied van  $\xi_0 > 2$  de steendikte juist meer toe dan voor  $\xi_0 \leq 2$ .



Figuur 7.6 Relatief effect dikte toplaag voor steenzettingen met zuilen toen  $H_{m0}$  is verhoogd met 10% en  $T_{m-1,0}$  is vermindert met 10%

Het relatief effect voor stabiliteit kan in Figuur 7.7 gezien worden. Er is hier een omgekeerd patroon te zien dan in Figuur 7.5, in de zin het maximum juist ligt in de rechteronderhoek in plaats van linksboven.



Figuur 7.7 Relatief effect stabiliteit voor steenzettingen met zuilen toen  $H_{m0}$  is verhoogd met 10% en  $T_{m-1,0}$  is vermindert met 10%

### 7.3.2.6 Conclusie voor toepassen toeslagen voor $H_{m0}$ en $T_{m-1,0}$

Uit bovenstaande paragrafen blijkt dat het toepassen van toeslagen, zeker bij een samengestelde functie als die voor betonzuilen niet blind moet worden toegepast. De optimale combinatie in dit geval is:

- voor  $\xi_0 \leq 2$  een positieve toeslag voor  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$
- voor  $\xi_0 > 2$  een positieve toeslag voor  $H_{m0}$  en een negatieve voor  $T_{m-1,0}$

N.B., Overigens wordt opgemerkt dat in Steentoets (Klein Breteler, Documentatie Steentoets 2008 en 2010, 2012)er gemaximeerd wordt op de waarde voor  $\xi_0 = 2$ . Dit resulteert dan dus in een relatieve toename van de steendikte van 1,1176. Dit is niet de optimale toe te passen toeslag, zoals hierboven staat, maar het helpt wel bij het reduceren van de afname van de robuustheid voor  $\xi_0 > 2$ .

## 7.4 Scripts

Bij dit handboek zijn een aantal scripts gebruikt voor de figuren in hoofdstuk 7. Deze kunnen worden opgevraagd om inzicht te krijgen in de afhankelijkheid van de faalmechanismen voor de diverse belasting parameters.

## 7.5 Boekhouding toepassen van opslagen faalmechanismen

De belasting is bepaald op een bepaalde waarde. Hierbij komt een toeslag voor de modelfout. Hiernaast is er een statistische onzekerheid van toepassing<sup>21</sup>.

Doorgaans

- Zal deze verschillen per parameter
- Kan deze zowel positief als negatief zijn, waar gebruik van kan worden gemaakt in het doorwerken in het faalmechanisme
- Zal deze doorgaans niet voor alle modellen 10% zijn
- kán de onzekerheidsverdeling ook niet symmetrisch zijn, wat inhoudt dat de onzekerheid naar boven en naar beneden niet alleen van teken verschillen, maar ok qua grootte. Dit heeft weer invloed op het doorwerken in het faalmechanisme.

Om nu echt te weten hoe een en ander doorwerkt zouden de gecorrigeerde belastingswaarden plus en min de statistische onzekerheden moeten worden bepaald.

Dus  $F(H_s \pm dH, T \pm dT)$  volgens bijgaande tabel. Het is goed om hier een kleine boekhouding van bij te houden.

*N.B. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden naar onderdelen van de beschrijvende Z-kromme!*

Voor wat betreft de grootte van  $dT$  en  $dH$  geldt dat het totale effect zou tot uiting moeten komen in een 'onzekerheidstoeslag', zoals nu ook voor OI2015 wordt afgeleid. De laatste stand van zaken voor de toe te passen (bulk)toeslagen conform het laatste OI is op te vragen bij de Helpdesk Water. Vooralsnog gaat het bij deze toeslagen om een modelcorrectie, voor 2015 (naar verwachting) gecombineerd met een grove inschatting van de statistische onzekerheid.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Let op! In de update van het OI2014 (Deltares, 2015) wordt met de zogenaamde 'onzekerheidstoeslag' een inschatting gemaakt van het totale effect van zowel robuustheidstoeslag als het toevoegen van statistische onzekerheden.

<sup>22</sup> Statistische onzekerheid voor waterstand, golfhoogte moeten indirect worden bepaald via de onzekerheden voor de basisstochasten (afvoer, wind). Dit is niet eenvoudig en is nog niet in detail ontwikkeld en uitgezocht. In de toekomst en mogelijk ook al deels in WT2017 kader heeft dit de aandacht.

N.B. De ontwerper moet deze echter verdisconteren met de correctie die mogelijk al in de HR- of CR-database is doorgevoerd.

F(H,T)		
	Hs +dHmax, T+ dTmax	Hs - dHmin, T+ dTmax
	Hs +dHmax, T- dTmin	Hs - dHmin, T- dTmin

Tabel 7.7 Kleine boekhouding om bij te houden wat het effect is op een faalmechanisme. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden naar onderdelen van de beschrijvende Z-kromme!

Middels de figuren zoals hierboven kan worden uitgezocht hoe toeslagen op belastingsparameters doorwerken in de faalmechanismen. Het hierbij dus zo zijn dat een lagere periode een hogere belasting voor een faalmechanisme oplevert!

Dus, pas als men dit heeft gedaan, kan worden bepaald hoe een robuustheidstoeslag het beste kan worden bepaald.

Het wordt aangeraden een 'boekhouding' hiervan aan te leggen.

Faalmechanisme	variantie		Effect op faalmechanisme		
	dHs	dT	-x1 %	gem	+x2 %
Hoogte	+ dH <sub>max</sub>	+ dT <sub>max</sub>	Dh <sub>k</sub> = y <sub>1</sub> %	h <sub>k</sub> = a	Dh <sub>k</sub> = y <sub>2</sub> %
Steenbekleding	+ dH <sub>max</sub>	- dT <sub>min</sub>			
Piping					
....					

## 7.6 Boekhouding faalmechanismen: de faalkansbegroting

Als in de nabije toekomst de overstap naar overstromingskansen en het Lokaal Individueel Risico (LIR) wordt gemaakt zal een faalkansbegroting worden afgeleid voor de verschillende faalmechanismen. Hierbij gaat het om een begroting van de bijdragen van de faalmechanismen in de totale kansruimte van de faalmechanismen. Hierbij kan de ingevulde Tabel 7.7, en de tabel hierboven helpen om alle verschillende toeslag van elkaar te onderscheiden.

Alle faalmechanismen samen bepalen immers of een kering faalt of niet. Echter de faalmechanismen zijn op dit moment nog niet eenvoudig samen te brengen. Een eerste stap in die richting wordt gezet in het WTI2017. Dat de faalmechanismen niet eenvoudig zijn op te tellen blijkt al uit het feit dat de huidige Z-functies nu nog vaak een dimensie hebben, die soms verschilt.

De uiteindelijk wenselijke transparant methode aangaande de toeslagen is daarmee nog even toekomstmuziek. Zolang het net als in de nu nog vigerend methode in de OI beperkt blijft tot 1 samengestelde bulktoeslag als het gaat om het toepassen van toeslagen, is het wel noodzakelijk om de methode uit Tabel 7.7 toe te passen.



## 8 Referenties

- Beckers J.; Geerse C.; Kramer N.; Nicolai R.; Wojciechowska K. (maart 2009). *Uncertainties of the Hydra models: SBW Belastingen*. Deltares-report H5098.20: Deltares-HKV.
- Bieman, J. d., & Kieftenburg, A. (2015). *Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities, t.b.v. het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken*. Deltaresdocument 1209832-004-HYE-0001: Deltares.
- Bruijn, H. d. (2004). *Kadeverschuiving Wilnis: onderzoek naar de oorzaak van de kadeverschuiving*. GeoDelftrapport: GeoDelft.
- Chbab, H. (Augustus 2012). *Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor de Benedenrivieren*. Deltares-rapport 1204143-003-ZWS-0030: Deltares.
- Chbab, H. (juli 2012). *Achtergrondrapportage hydraulische belastingen voor de Vechtdelta*. Deltares-rapport 1204143-003-ZWS-0025: Deltares.
- Deltares. (augustus 2014). *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden: ten behoeve van nHWBP 2014 projecten*. Deltares-rapport 1208992-000-HYE-0008: Deltares.
- Gao, Q. (3 mei 2004). *Golfmodellen HISWA en SWAN in het IJsselmeergebied*. RIZA werkdocument: 2004.107X: RWS-RIZA.
- Gautier, C., & Groeneweg, J. (maart 2012). *Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor zee en estuaria*. Deltares-rapport 1204143-002-HYE-0037, versie 2: Deltares.
- Gautier, C., & Nieuwkoop, J. v. (28 april 2015). *Quickscan Modelonzekerheden Golfbelasting Markermeer*. Deltares-rapport 1220082-007-HYE-0002: Deltares.
- Geerse, C. (december 2003). *Probabilistisch model Hydraulische Randvoorwaarden Benedenrivierengebied*. RIZA-werkdocument 2003.128x: RWS-RIZA.
- Groot-Wallast, I. d. (oktober 2013). *Hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor schutsluizen : technisch handboek (versie 2)*. Deltares-rapport 1207836-000-GEO-0001: Deltares.
- Heijer, F. d. (12 februari 1996). *Globale indicatie van het waterstandsverloop onder maatgevende omstandigheden*. W-DWW-96-014: DWW.
- Hoogwaterbeschermingsprogramma. (2015). <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Documenten+openbaar/Kennis+en+Innovatie/357871.aspx?t=Nieuwe+normering+en+ontwerpen+in+HWBP-projecten>.
- Hordijk, D. (21 maart 2007). *Prognose schor en slik ontwikkelingen Oosterschelde: Een onderzoek ten behoeve van de versterking van steenbekledingen langs de Oosterschelde*. RIKZ-rapport RIKZ/KW/2007.103w: RWS-RIKZ.
- Hordijk, D. (februari 2003). *Rapportage Veldmetingen Pettemer Zeewering Stormseizoen 2001-2002*. RWS-RIKZ-rapport RIKZ/OS/2003.101X: RWS-RIKZ.
- Jacobse, S., Scholl, O., & Koppel, J. v. (8 november 2008). *Prognose van Schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde: Een analyse naar de te verwachten ontwikkelingen tot 2060*. RoyalHaskoning-rapport 9T4814.B0: RoyalHaskoning-NIOO.
- Jong, M. d. (2004). *Origin and prediction of seiches in Rotterdam harbour basins*. ISBN 90-9017925-9: Technische Universiteit Delft.
- Jongejan, R. (2014). *Rekenen aan overstromingskansen*. Lezing bij PAO-cursus: Waterveiligheid 2.0.
- Kieftenburg, A., & Taal, M. (19 maart 2014). *Activiteitenplan 2014 Westerschelde-Veiligheidsinstrumentarium: Ondersteuning Deltaprogramma ZuidWestelijke Delta*. Deltares-concept rapport 209394-000-ZKS-0010: Deltares.
- Klein Breteler, M. (2012). *Documentatie Steentoets 2008 en 2010*. Deltares rapport 1204727-009: Deltares.



- Klein Breteler, M. (21 oktober 2009). *Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities*. Deltares-rapport 1200193: Deltares.
- KNMI. (2014). *KNMI'14, Klimaatscenario's voor Nederland*. Retrieved from [www.klimaatscenario's.nl/images/Brochure\\_KNMI14\\_NL.pdf](http://www.klimaatscenario's.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf).
- Kwaard, F. (2005, januari 20). *Correctie van NAP-hoogten m.i.v. januari 2005*. Retrieved 2015, from <http://www.kwaard.net/NAP-niveau.htm>.
- Luijendijk, S., & Hijma, M. (12 november 2014). *Ondergrondmodel Eemshaven - Delfzijl met aangepaste schematisatie*. Deltares, interne notitie: Deltares.
- Meurs, G. v., & Kieftenburg, A. (december 2014). *Dubbele dijken, een verkenning voor Eemshaven-Delfzijl: Beoordeling toetsbaarheid*. Deltares-rapport 1209152-003-ZKS-0001: Deltares.
- Mheen, M. v., & Groot-Wallast, I. d. (december 2013). *Hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor stuwen*. Deltares-rapport 1207836\_002: Deltares.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Leidraad Rivieren*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Technisch Rapport OntwerpBelastingen voor het rivierengebied*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (25 maart 2009). *Addendum I bij de Leidraad Zee- en Meerdijken t.b.v. het ontwerpen van meerdijken*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (augustus 2007). *Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen - voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006)*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- MX.Systems. (16 juli 2004). *Ontwerpdokument KustDB2006, Database met Controle-tool, ten behoeve van RWS-RIKZ*.
- ProjectBureau Zeeweringen (PBZ). (1997-2015). *Veldmetingen Zeeland*.
- ProjectBureau Zeeweringen (PBZ). (2014, Januari). *Zeeweringenwiki.nl*. Retrieved from [kies Hydraulische Belastingen](http://kies.hydraulischebelastingen.nl).
- Rechtspraak.nl. (2012, april 17). <http://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:GHSGR:2012:BW1497&key=word=wilnis>.
- Rego, J. (26 maart 2010). *Hydrodynamic production runs with Kuststrook model: 360 surge scenarios*. 1200103-024-HYE-0002: Deltares.
- Reijmerink, S., & Jong, M. d. (16 december 2014). *Actualisatie seiches Rotterdam WTI2017-Waterstandsafhankelijke seiche-waarden*. Deltares-rapport 1209433-006-HYE-0002: Deltares.
- RWS. (1995-2007). *Petten meetsite*.
- RWS. (2015, 25 september). *Astronomisch getij*. Retrieved from <http://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/astronomisch-getij.aspx>.
- RWS. (2017, 25 september). *WTI2017 in ontwikkeling*. Retrieved from <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/toetsen/wti2017-ontwikkeling/>.
- RWS-CIV. (2015, augustus). *Vaarwegen in Nederland (editie augustus 2015)*. Retrieved from [www.vaarweginformatie.nl/fdd/main/download?fileId=1942534](http://www.vaarweginformatie.nl/fdd/main/download?fileId=1942534).
- RWS-RIKZ. (november 2008). *Achtergrondrapport HR 2006 voor de Zee en Estuaria: Hydraulische Randvoorwaarden 2006*. RWS-RIKZ rapport 2006.029; ISBN 9036914930: RWS-RIKZ.
- RWS-RIZA. (2007). *Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren: Thermometerrandvoorwaarden 2006*. RWS-RIZA rapport 2007.023; ISBN 978-90-369-1402-4: RWS-RIZA.
- SDU. (wordt jaarlijks uitgegeven). *Getijtafels voor Nederland*. sdu.nl: SDU-boek.

- Stormvloedwaarschuwingdienst/SVSD. (19 maart 2014). *Stormvloedrapport van 5 t/m 7 december 2013 (SR91): Sint Nicolaasvloed 2013*. RWS-Watermanagementcentrum Nederland (WMCN).
- Stormvloedwaarschuwingdienst/SVSD. (november 2007). *Verslag van de stormvloed van 9 november 2007 (SR88)*. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig. (23 februari 2011). *Handleiding hydraulische detailadviezen, Oosterschelde en Westerschelde 2011, deel 1A, 1B, 2 en 3*. Svašek Hydraulics-rapport 1631/U11013/C/PvdR: Svašek Hydraulics.
- Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig. (februari 2010). *Kaartjes met dijkvakindeling Oosterschelde en Westerschelde*. RKZ1906.024: RWS-RIKZ. Retrieved from <http://www.zeeweringenwiki.nl>.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (december 1999). *Leidraad Zee- en Meerdijken*. Delft.
- Tijssen, A. (26 november 2009a). *Herberekening werklijn Maas in het kader van WTI2011*. 1200103-044-ZWS-0007: Deltares.
- Tijssen, A. (26 november 2009b). *Herberekening werklijn Rijn in het kader van WTI2011*. Deltares-rapport 1200103-044-ZWS-0008: Deltares.
- Tijssen, A., & Diermanse, F. (30 augustus 2010). *Storm surge duration and storm duration at Hoek van Holland: SBW-Belastingen*. Deltares-report 1200264-001-HYE-0008: Deltares.
- Vlag, D. (16 december 2009). *Hydrologische trends IJsselmeer*. RWS-RDIJ.
- Vrouwenvelder, P. i., Steenbergen, I. H., & Diemanse, D. i. (december2003). *Belastingmodellen Westerschelde / Waddenzee Vergelijking Hydra-K en PC-Ring (inclusief resultaten aanvullende studie)*. TNO-rapport 2003-CI-R0032: TNO en WL.
- Waal, H. d., & Paverd, M. v. (22 maart 1999). *Randvoorwaarden voor het toetsen van bekledingen langs het IJsselmeer en Markermeer*. RWS-RIZA en RWS-DWW notitie: RWS-RIZA en RWS-DWW.
- Westphal, R., & Hartman, J. (25 maart 1999). *Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied*. RIZA rapport 99.037; ISBN 9036952611 : RWS-RIZA.
- Wieringa, J., & Rijkoort, P. (1983). *Windklimaat van Nederland*. KNMI-rapport ISBN 90 12 044669: Staatsdrukkerij, Den Haag.



## 9 Deel 2: Bepaling waterstand en golfcondities - Stappenplan hydraulische ontwerprandvoorwaarden dammen en dijken

Dit hoofdstuk schetst een stappenplan om te komen tot een goed onderbouwde set van ontwerprandvoorwaarden, uitgaande van de vigerende HR-dataset of nieuwere kennis. Anno 2014 zijn dat de HR2006 en de CR2011. Hierover staat meer beschreven in bijlagen A, B, C, D.

Voor een robuust ontwerp worden onzekerheden meegenomen (zie hoofdstuk 6) en wordt rekening gehouden met de doorwerking van de onzekerheden in de faalmechanismen (zie hoofdstuk 7).

Deel 2 van dit handboek heeft als doel een werkwijze (stappenplan) aan te leveren die helpt bij de reproduceerbaarheid van ontwerpadviezen en zorgen voor onderbouwing en navolgbaarheid. De werkwijze is aangesloten op:

- Handboek schutsluizen
- Hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde

Voor wat betreft de inhoud wordt aangesloten op de leidraden en het OI. Waar strijdigheden in de leidraden staan en/of het OI zal er hier een advies voor de aanpak worden gegeven. Ook wordt aangegeven waar achtergrondinformatie te vinden is en wat deze inhoudt.

Het gaat bij het ontwerpen van een kering om extreme omstandigheden en operationele omstandigheden.

Ook is er in Bijlage H een voorbeeld uitgewerkt voor wat betreft de steenbekledingen, zoals deze is toegepast in Zeeland door PBZ. In Bijlage 13J is een samenvatting van alle te volgen stappen opgenomen. Deze kan helpen als reminder voor de te volgen stappen, nadat men eerst heel deel 2 een of enkele keren heeft toegepast.

### 9.1 Inleiding

Als er een ontwerp nodig is voor een kering, dan is deze doorgaans afgekeurd in het kader van de toetsing. Echter met de nieuwste inzichten en de voor 2017 veranderde toetstechniek, en dus de overgang naar overstromingskansen doet de ontwerper er verstandig aan een inschatting te maken of de bewuste kering inderdaad niet voldoet volgens het laatste Ontwerpinstrumentarium (op te vragen via de helpdesk water). Is de kering volgens de huidige inzichten onterecht afgekeurd, dan kan er veel geld bespaard worden.

Ontwerpadviezen voor dijken en dammen worden afgeleid per dijktracé (ook wel dijktraject of dijkvak genoemd). Deze is onderverdeeld in een aantal randvoorwaardenvakken, ofwel gedeelten van het dijktraject waarvoor hydraulische ontwerprandvoorwaarden min of meer constant zijn.

Met het stappenplan dat wordt aangestipt in paragraaf 9.2 worden, na een degelijke voorbereiding, in acht stappen de sets van hydraulische ontwerprandvoorwaarden opgesteld. Naarmate de ontwerper verder komt in het ontwerpproces, kan het nodig zijn om de stappen nogmaals uit te voeren, bijvoorbeeld als het ontwerp scherper moet (conform het beschrevene in paragraaf 7.3) bijvoorbeeld omdat de eerste versie niet binnen het beschikbare budget valt. Het betreft dus (mogelijk) een iteratief proces. Daarbij worden de randvoorwaarden steeds scherper gesteld. Het stappenplan biedt hiervoor een kader. In specifieke gevallen kan hiervan

onderbouwd worden afgeweken. Een voorbeelduitwerking met het stappenplan is opgenomen in Bijlage H.

Het stappenplan zal grote overeenkomsten vertonen met de werkwijze voor de Hydraulische Ontwerp Randvoorwaarden zoals deze zijn toegepast in Zeeland door PBZ. Deze werkwijze is beschreven in (Svašek Hydraulics / Royal Haskonning, 23 februari 2011)

## 9.2 Stappenplan

Om te komen tot een set van hydraulische ontwerprandvoorwaarden worden de volgende stappen doorlopen:

<b>Stap 0</b>	<b>Voorbereidend werk met de opdrachtgever</b>
<b>Stap 1</b>	<b>Beschrijven van het (water)systeem</b>
<b>Stap 2</b>	<b>Bepalen functies dam of dijk</b>
<b>Stap 3</b>	<b>Bepalen locatie en afmeting dam of dijk</b>
<b>Stap 4</b>	<b>Bepalen en beschrijven van mogelijke situaties (zie Figuur 5.3)</b>
<b>Stap 5</b>	<b>Bepalen set van benodigde hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor iedere situatie</b>
<b>Stap 6</b>	<b>Kwantificeren hydraulische ontwerprandvoorwaarden</b>
<b>Stap 7</b>	<b>Rapportage</b>
<b>Stap 8</b>	<b>Vaststellen hydraulische ontwerprandvoorwaarden - actie van opdrachtgever</b>

## 9.3 Voorbereidende werk met de opdrachtgever -

### Stap 0

Het te leveren advies en het afleveren van de Ontwerprandvoorwaarden zal technisch van aard zijn. Maar met dit advies alleen zijn we er nog niet. Het is belangrijk om de klant te kennen. De adviezen moeten toegespitst zijn op de problematiek van de klant. Hiervoor is kennis van de organisatie nodig. Hierbij zijn de antwoorden nodig op de onderstaande vragen.

- 1) Wat is hun rol, wat is hun visie en kennis van de vervolgstap in de keten van het ontwerpproces? Dus hoe wordt het advies verder gebruikt?
- 2) Verder is het fijn om te weten wat de ervaring is van de klant, hoe hij de adviezen eerder heeft toegepast, of hier nog aanvullende wensen of eisen bij zijn. Waar moet rekening mee worden gehouden? Dit kan een omgevingsbeperking opleveren, maar ook een financiële beperking.
- 3) Welke kennis is er waar aanwezig in de organisatie? Is er nog kennis over de 'oude' situatie? Is er nog data beschikbaar?
- 4) Is er een Voorkeursalternatief (VKA). Waarom is dat zo?
- 5) Hoe is de kwaliteitsborging geregeld van de aanleg? Dit kan bij een uitvoerende aannemer liggen, bij de klant zelf of extern geregeld zijn.
- 6) Hoe en op welke momenten zal er met wie worden afgestemd?

Het is noodzakelijk hier vroegtijdig mee te starten. Dit zal de acceptatie van het uiteindelijke eindproduct ten goede komen.

## 9.4 Beschrijven van het watersysteem

### Stap 1

De (nieuw) te ontwerpen dijk of dam maakt deel uit van of is de begrenzing voor een watersysteem. Een beschrijving van dit systeem is een eerste vereiste om een set van hydraulische ontwerprandvoorwaarden te kunnen bepalen. Het gaat om de beschrijving van het

deelsysteem met de dominante bronnen (zie paragraaf 4.4) in *de nieuwe situatie*. Daarbij moeten de grenzen van het te beschouwen dijktraject ruim genoeg worden gekozen, en/of er moet worden beschreven wat de invloed is van maatregelen boven en/of benedenstrooms. Dat betekent concreet dat de grenzen voor de beschrijving van het watersysteem ver genoeg van de kering vandaan moeten liggen.

De betreffende randvoorwaardenvakken moeten worden opgesomd en de begrenzingspunten moeten worden zowel in x, y -coördinaten t.o.v. Parijs<sup>23</sup> als in dijkpaalnummering gegeven. Het beschouwde dijktraject is daarbij iets ruimer traject dan het ontwerptraject. Deze gegevens kunnen het best in een tabel zoals Tabel 9.1 worden weergegeven.

*N.B. Dijkpaalnummering/dijkkilometrerings alleen voldoet niet omdat deze nummering vaak niet uniek is. Dit is echter vaak wel de handigste manier van communiceren met de gebiedsdeskundigen en beheerders.*

Een begeleidende figuur (zoals Figuur 9.1) met daarin de grenzen van de dijkvakken, het ontwerpgebied, dijkpalen en de uitvoerpunten van de HR-dataset of CR-dataset maakt een en ander overzichtelijk.

vak no.	Dijkvakscheidings- coördinaten tov Parijs (m)				Dijk kilometrerings (km)		Poldernaam
	van		tot		van	tot	
	x	y	x	y			
121	64332	403480	66016	403088	80,65	78,85	Anna Vosdijkpolder / Suzannapolder
122a	66016	403088	66101	402979	78,85	78,70	Suzannapolder / Joanna Mariapolder
122b	66101	402979	<b>66598</b>	<b>402369</b>	78,70	<b>77,60</b>	Suzannapolder / Joanna Mariapolder

Tabel 9.1 Voorbeeld: Beschouwde dijkvakken

De beschrijving dient uit een aantal elementen te bestaan:

- Tabel met de coördinaten van de grenzen van het dijkvak of de strekking van de dam
- Kaart van het watersysteem, met daarop aangegeven
  - Ligging en begrenzing van het te beschouwen dijktraject
  - dijkpaalnummers
  - Uitvoerlocaties: locatie(s) van hydraulische randvoorwaarden waarmee verder wordt gewerkt. Dit zullen meestal de HR/CR zijn (zie bijlagen A, B, C, D.)
  - de ligging van geulen en ondieptes

<sup>23</sup> Dit is gebruikelijk voor RWS-projecten



Figuur 9.1 Dijkvak 122b opgesplitst in dijkvakken 122b en 122c. Voorbeeld: Suzannapolder advies RKZ019.013H

Sterk variërende bodemligging langs het traject of een in oriëntatie sterk veranderende dijk vallen zo meteen op. Bij een te grote variatie langs een vak moeten daardoor mogelijk meer dan 1 set aan ontwerprandvoorwaarden worden afgeleid.

*N.B. De locatie, waarvoor de HR-dataset of CR-dataset zijn afgeleid, ligt op enige afstand van de kering. Als regel geldt dat de uitvoerlocaties van de HR- of CR-dataset op 50 m van de teen ofwel 100 m van de kruin liggen, of mogelijk verder als de berekeningen die hier aan ten grondslag liggen ouder zijn. Dit kan ook door lokale omstandigheden variëren. Voor rivieren zijn uitvoerlocaties vaak op de as van de rivier gelegd. In alle gevallen betekent dat, dat er voor de echte belasting op de kering er nog een vertaalslag nodig is van het uitvoerpunt om te komen tot de belastingsparameters bij de teen van de kering. Voor het ontwerp van de kering moet immers worden uitgegaan van de echte belasting op de kering en niet de balasting van iets verderop.*

- Beschrijving van het watersysteem in woorden; aandacht voor:
  - De bronnen van belasting in het deelsysteem (zie paragraaf 3.2).
  - Het type kering (primaire kering) dam of dijk
  - (aanliggende) Dijkkringen met beschrijving
  - De geldende norm
  - aanwezigheid van geulen
  - diepte in het uitvoerpunt
  
  - nabij gelegen kunstwerken, en voorliggende keringen (bijv. de Oosterscheldekering),
  - aanwezigheid van havens en havendammen,
  - aanwezigheid van nollen, strekdammen, vooroeververdedigingen,
  - aanwezigheid van kwelders, schorren, slikken en de inschatting in de toekomstige situatie<sup>24</sup>
  - aanwezigheid voorland en de inschatting in de toekomstige situatie<sup>23</sup>

<sup>24</sup> Hiervoor moet eigenlijk al op voorhand studie naar zijn verricht. Indien de toekomstige ontwikkeling niet wordt meegenomen zou dit moeten worden vastgelegd in de legger.

Er dient voor de laatste 5 items vermeld te worden of er rekening mee wordt gehouden dat deze bij maatgevende omstandigheden al dan niet in stand blijven. In het geval dat deze bestand zijn onder die normomstandigheden kan een aanwezige constructie of voorover een reducerende werking kan hebben op de golfcondities onder normcondities. Dan is van belang om ook nog aandacht te besteden aan:

- de ligging deze bovengenoemde elementen ten opzichte van de uitvoerlocaties
- bijzonderheden hiervan en bestandheid hiervan ten normcondities

*N.B. aandachtspunt: hoe zit dat bij de nieuwe normering en WTlgetallen in 2017?*



Figuur 9.2 Voorbeeld overzichtskaart voor Suzannapolder, advies RKZ019.013H

*N.B.1 Als het niet bekend is hoe strekdammen, nollen en havendammen e.d. ontworpen zijn, moeten deze als verloren worden beschouwd bij maatgevenede omstandigheden.en er geen bewezen sterkte bekend is <sup>25</sup>.*

*N.B.2 Er dient expliciet aangegeven te worden of en hoe dit is meegenomen in de golfberekeningen. Dit betekent dat men moet weten hoe de HR-dataset is afgeleid.*

#### Advies

Het strekt tot de aanbeveling om een dergelijke Atlas (zie Bijlage 13M) daarin de basis voor de kaartjes als en Figuur 9.2 overal in Nederland beschikbaar te maken!

<sup>25</sup> Uitzondering hierop kan zijn als er sprake is van bewezen sterkte, zoals dat kan in het IJsselmeer, of Markermeer Een aantal keringen lagen er al in de tijd dat dit nog Zuiderzee was en heeft hydraulische condities van stormen doorstaan die vergelijkbaar zijn met de huidige HR op de meren.



Hiernaast kan de ligging van het te beschouwen traject in het grotere geheel bepalend zijn. Zo is het bijvoorbeeld in de Oosterschelde belangrijk om te weten dat er een kerring ligt en dat deze bij een waterstand van NAP + 3 m sluit. (zie Tabel 4.1 voor meer van dergelijke informatie). Een overzichtskaart met daarop aangegeven waar het dijktraject ligt in het grotere geheel, zoals in Figuur 9.2, is daarbij handig.

Voor de Oosterschelde en Westerschelde is hiervoor een aparte Atlas (Svašek Hydraulics / Royal Haskonning, februari 2010) beschikbaar.. De inhoudsopgave daarvan is opgenomen in Bijlage 13M. Deze is bijzonder bruikbaar gebleken in de adviezen voor PBZ.

## Effecten kunstwerken

De effecten van het gebruik van kunstwerken zoals de deurbeweging van een de schutsluis op de hydraulische ontwerpcondities maken doorgaans geen deel uit van de vooraf aan te geven hydraulische ontwerpvoorwaarden. Toch heeft dit een mogelijke verhogend effect op de belasting. Het is zaak om na te gaan of en hoe deze in de HR/CR kunnen spelen en of en hoe deze effecten zijn meegenomen.

## Aansluitende ontwerpadviezen

In het geval dat het traject een overlap heeft met of aansluit op een eerder afgegeven ontwerpadviezen van een dam, dijk of kunstwerk dan moet hier kennis van worden genomen.

- Teveel variatie in een aaneengesloten traject is immers vreemd en lastig uit te leggen.
- Ook ontbrekende stukken kunnen zo boven tafel komen. In dat geval kunnen begrenzingen van het randvoorwaardenvak aangepast worden

Voor PBZ is van alle geleverde detailadviezen voor de ontwerpen van steenbekledingen een tweetal overzichtskaart gemaakt; een van alle adviezen, en ook een met alleen de vigerende adviezen. Deze is te vinden op een website (ProjectBureau Zeeweringen (PBZ), 2014).

*N.B. Het is hierbij wel noodzakelijk om van deze aansluitende ontwerpadviezen te weten op welke gegevens deze zijn gebaseerd, dus welke HR-dataset hier aan ten grondslag liggen danwel waarmee getoetst is, en hoe de stand der techniek is veranderd.*

*Immers: er moet worden ontworpen volgens de laatste stand der techniek (Rechtspraak.nl, 2012)!*

### **Stap 1: Beschrijf het watersysteem**

- *Wat zijn de begrenzingen? Leg deze vast met Parijse coördinaten en dijkpaalnummers. N.B. Dijkpaalnummering is niet uniek.*
- *Bekijk de situatie op een kaart waarin bodem en kunstwerken als strekdammen en nollen zijn aangegeven.*
- *Waar zijn geulen en ondieptes te vinden?*
- *Hoe ligt het gebied in het grotere geheel? Is er een SVK of is er in bepaalde gevallen sprake van afscherpende werking?*
- *Waar zijn de uitvoerlocaties gedefinieerd en hoe liggen deze in relatie tot de kunstwerken en ondieptes? Wat is de diepte ter plekke van het uitvoerpunt?*
- *Zijn de kunstwerken bestand tegen de normconditie?*  
*N.B. aandachtspunt: hoe zit dat bij de nieuwe normering en het WT12017?*
- *Zijn er ontwerpadviezen van naastliggende dijkstrekkingen of eventueel kunstwerken in de buurt. Wat zijn hiervan de bijzonderheden.*

## 9.5 Bepalen functies en bijzonderheden dammen en dijken -

### Stap 2

Stap 2 omvat de beschrijving van de functies die de dam of dijk moet vervullen. Tabel 9.2 levert hiervoor een format.

Tabel 9.2 Functies van een dijk, een voorbeeld

Functie	Toelichting	Wanneer functie vervullen
<b>1. Keren hoogwater</b>	Onderdeel van primaire waterkering	Altijd; tot aan vigerende normfrequentie
<b>2. secundaire functies</b>		
○ Kwaliteit	recreatie	Normale omstandigheden
○ Transport	Weg op dijk	Altijd, ook bij calamiteiten
○ natuurwaarde	Broed- en verblijflocaties voor vogels, Voorland als foerageergebied	Altijd, na oplevering
○ etc		
<b>3. bijzonderheden</b>	Bijzondere bebouwing met monumentale status	
○ etc		

Tabel 9.3: Functies en grenzen

Functie:	Grenzen voor:
Veiligheid	Waterstanden en golfbelasting
Verkeer over de dijk/dam	Overslag, windkracht

Functie 2 voor natuurwaarden zijn met name van belang in de keuze van bijvoorbeeld de bekleding. Deze is op deze wijze bepalend voor de te beschouwen faalmechanismen.

N.B. Voor de functie veiligheid staan de grenzen wettelijk vast.

#### **Stap 2: te stellen vragen om zicht te krijgen op de te vervullen functies**

- Tot welke wind, golf- en waterstandscondities gelden de functies?
- Zijn er toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot de functies?  
Toekomstige ontwikkelingen dienen te worden meegenomen. De invloed ervan op het functioneren en het ontwerp moet uitvoerig beschreven worden.  
Verhindert het te gebruiken klimaatscenario bijvoorbeeld de recreatie in de toekomst of de mogelijkheid om, aanlegplaats voor scheepvaart oid aan te leggen?

## 9.6 Bepalen locatie en afmeting

### Stap 3

Dijken die moeten worden aangepast komen doorgaans weer terug of worden aangepast op de plaats waar ze stonden. Als er sprake is van een verflauwing van het talud, zal de footprint van de kering wel veranderen. Er kan aan de buitenzijde, maar ook aan de binnenzijde worden uitgebreid.

Bij de Ruimte voor de Rivier dijken wordt wel op ene andere plaats een nieuwe dijk gemaakt, een ander voorbeeld van verplaatsing is Ellewoutsdijk, waar een historische burcht het aanpassen volgens de conventionele manier in de weg stond (zie (Meurs & Kieftenburg, december 2014) ).

In de leidraden zijn in verschillende hoofdstukken aanwijzingen te vinden voor dijken. (dimensionering op hoofdlijnen).

Deze staan hieronder opgesomd:

- Minimale breedte kruin
- Maximaal 1 op 3 helling

Vooralsnog gelden deze aanwijzingen nog steeds, dus ook in het kader van het OI.

Bovenstaande zaken zijn eisen aan het ontwerp die nodig zijn om bijv. de begaanbaarheid bij

### **Stap 3: Bepaal locatie en afmeting van dam of dijk**

- *Komt de kering op ongeveer gelijke locatie te liggen of wordt deze verlegd?*
- *Bepaal de minimale en eventueel maximaal mogelijke afmetingen van de kering.*

crisissituatie mogelijk te maken. Ook ruimtegebrek of historische waarden kunnen de maximale afmetingen beperken.

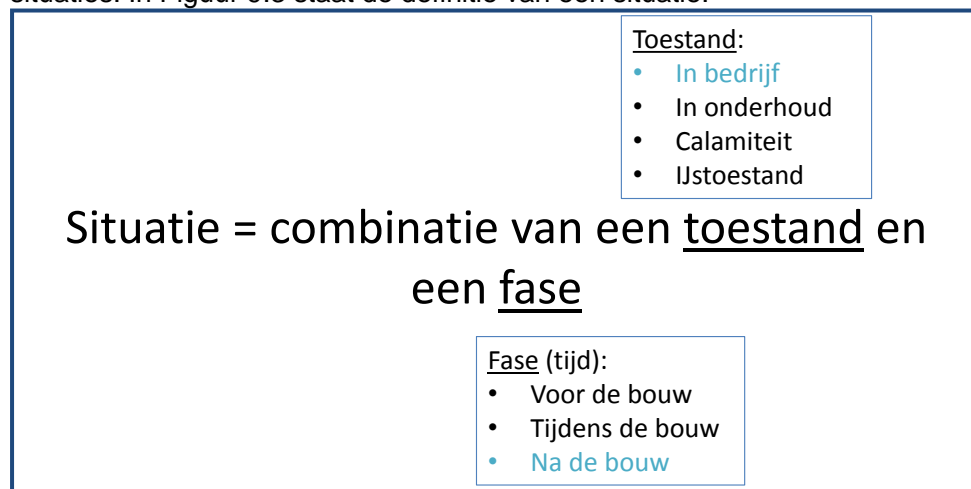
## 9.7 Bepalen en beschrijven van mogelijke situaties en scenario's-

## Stap 4

De ontwerprandvoorwaarden worden primair bepaald voor de situatie aan het einde van de planperiode van de dijk of dam. Echter ook voor deze tijd zijn er bij aanleg en bij mogelijk onderhoud situaties denkbaar waar de aanvullingen op deze ontwerprandvoorwaarden nodig zijn. In deze stap 4 wordt beschreven hoe mogelijke situaties worden bepaald en moeten worden beschreven (Paragraaf 9.7.1). De beschrijving kan worden gemaakt aan de hand van de toelichting op de verschillende toestanden en fasen in Paragraaf 9.7.2 en 9.7.3.

### 9.7.1 Bepalen mogelijke situaties

De sets van hydraulische ontwerprandvoorwaarden worden opgesteld voor verschillende situaties. In Figuur 9.3 staat de definitie van een situatie.



Figuur 9.3 Definitie van situatie, toestand en fase

Voor een dam of dijk wordt onderscheid gemaakt in de volgende toestanden:

- In bedrijf

- In onderhoud
- Bij calamiteiten

### Toestand

#### • In bedrijf

De hydraulische ontwerprandvoorwaarden worden in eerste instantie bepaald voor de situatie hoe de dijk of dam er bij ligt na de aanleg bij een gegeven normconditie.

#### • In onderhoud

De ontwerpcondities voor de onderhoudstoestand moeten worden bepaald op basis van een (onderhouds)plan. Daarin wordt aangegeven welke functies een dam of dijk gedurende een onderhoudssituatie moet vervullen, zie Tabel 9.7 onder welke scenario's Tabel 9.4.

Periodiek onderhoud en ook aanleg mag alleen buiten het stormseizoen plaatsvinden. De veiligheid moet ook ten tijde van aanleg of werkzaamheden gegarandeerd zijn. Periodiek onderhoud mag daarnaast alleen plaatsvinden als vogels kunnen uitwijken naar foerageergebied in de nabijheid van het ontwerptraacé. Naast periodiek onderhoud kan er ook sprake zijn van niet in te plannen onderhoud, bijvoorbeeld naar aanleiding van een calamiteit.

#### **Ter illustratie**

*Voor de Oosterschelde zijn de aanpassingen van de bekleding op de dijken steeds verspreid aangepakt. Dit was om de tegemoet te komen aan de vogelhabitatrichtlijn.*

*N.B. Blijkt een dijk of dam slecht uitbreidbaar of blijkt deze zo slecht toegankelijk dat onderhoud vrijwel onmogelijk is, dan moet worden ontworpen met een 100 jaar scope voor deze betreffende dam of dijk (zie bijlage 13K).*

### **Calamiteiten**

In het kader hieronder staan een aantal voorbeelden van calamiteiten genoemd. Voor een ontwerp is het van belang dat allereerst alle mogelijke calamiteiten benoemd worden om vervolgens de kans hierop en het effect hiervan te bepalen.

Of de betreffende calamiteiten moet worden meegenomen is dus afhankelijk van de grootte van de kans, danwel de impact (= kans \* gevolg). Het meenemen van calamiteiten met een kans in de orde grootte van de normfrequentie dient met de opdrachtgever te worden afgestemd.

#### **Mogelijke calamiteiten**

*Calamiteiten nabij, boven- of benedenstrooms de kering onder andere:*

- *Gelijktijdige storm op zee en hoogwater achter de stormvloedkering*
- *Falen van stormvloedkering*
- *Uitval spuicapaciteit met verhoging waterstand als gevolg*
- *Extreme neerslag/clusterbuien*
- *Schade door ijs*
- *Schade door aanvaring*

### **IJs**

In tegenstelling tot bij ontwerpen van sluizen is ijs geen aparte toestand die hoeft te worden beschouwd voor dijken en dammen. Overstromingen door ijs zijn namelijk in de afgelopen

anderhalve eeuw niet meer voorgekomen. IJs zorgt wel voor een belasting van de kering en mogelijk beschadiging en kan zo worden gezien als calamiteit.

Doorgaans geldt: Calamiteiten met een kans kleiner dan de normfrequentie kunnen buiten beschouwing blijven.

Voor het watersysteem dat wordt beschouwd, zal moeten worden gekeken wat er aan de orde kan zijn. Op de meren speelt bijv kruierend ijs wel een rol, en op zee is een aanvaring bij een dijk erg onwaarschijnlijk.

### *Achtergrondinformatie 'ijs'*

Met een veranderend klimaat in het achterhoofd is het goed om bewust te zijn waar de beslissing om ijsbelasting niet apart te beschouwen vandaan komt.

Hieronder volgen enkele citaten, specifiek hierover, ter overweging. Het is aan de ontwerper en zijn opdrachtgever om hier wel of niet iets mee te doen.

*Nederland behoort niet tot de landen met gevestigde regels en voorschriften over de manier waarop bij het ontwerpen en beoordelen van constructies met ijsbelasting rekening moet worden gehouden. De temperatuur en het zoutgehalte van het water van de Noordzee aan de kust geven geen aanleiding tot het ontstaan van ijsvorming van enige betekenis. In de zeearmen, en zeker in de meren, zijn wel gevallen bekend van significante ijsvorming; de afsluiting van de zeearmen in Zeeland heeft invloed op de mate van ijsvorming langs de Zeeuwse oevers. Op de rivieren kan ijsvorming leiden tot beïnvloeding van de waterstand op de rivier.*

*Ondanks de schade die ijs kan veroorzaken, is voor de Nederlandse situatie de kans op inundatie van het achterland toch erg laag. Hiervoor zou de ijsbelasting gepaard moeten gaan met hoge waterstand en zware golfaanval, zodat het grondlichaam onder de beschadigde bekleding verder kan eroderen en bezwijken. Een dergelijke samenloop van omstandigheden is onwaarschijnlijk, omdat de golfhoogte door het ijs op het water sterk wordt beperkt.*

*Citaat uit: Basisinformatie dijken, Handreiking Inspectie waterkeringen StoWa rapportnummer VW2008-03, 5.4.3 IJs*

### **IJstoestanden**

IJs geeft bijzondere krachten en belastingen op dijken en dammen en heeft gevolgen voor de begaanbaarheid van de dijk of dam bij calamiteiten. In rivieren is er al in 1,5 eeuwen geen overstroming meer geweest door ijs. In meergebieden zoals het IJsselmeergebied, en ook op de Waddenzee is kruiend ijs wel aan de orde geweest. Voor de bekleding dient hier rekening mee te worden gehouden.

Voor dammen en dijken wordt kruiend ijs wel genoemd in hst 2 van de Leidraad rivieren, maar dit levert weinig concreets op richting ontwerp.

### **IJsverslagen scannen kunstwerken**

*IJsverslagen voor kunstwerken kunnen interessante informatie leveren, ook voor dammen en dijken.*

*IJsverslagen met voorbeelden zijn te vinden op:*

*[http://english.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/page\\_kennisplein.aspx?DossierURI=tcm:195-17870-4&Id=109900](http://english.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/page_kennisplein.aspx?DossierURI=tcm:195-17870-4&Id=109900)*

*Deze link is alleen voor RWS-medewerkers beschikbaar, ijsverslagen kunnen ook opgevraagd worden via: [waterkamer@rws.nl](mailto:waterkamer@rws.nl).*

### **Fase**

De definitie van fase lijkt op het eerste oog niet nodig voor dammen en dijken; alleen 'na de bouw' lijkt van belang. Echter als het gaat om het creëren van een wezenlijk andere situatie, zoals bij het afdichten van de afsluitdijk bijvoorbeeld of het aanleggen van andere vaste waterscheidingen is het wel zinvol om deze mee te nemen.

### **Te beschouwen scenario's**

Het combineren van bovenstaande in een tabel, resulteert in de beschouwen scenario's. Dit is geïllustreerd in Tabel 9.4

• **Toelichting Tabel 9.4**

Alle situaties zijn in Tabel 9.4 opgenomen. Met een kruisje is aangegeven welke combinaties (en dus situaties) beschouwd en beschreven moeten worden.

Ligt de dijk of dam nog niet op de beoogde plaats, dan is voor de fase "vóór de bouw" geen operationele conditie van toepassing.

Voor de situaties "tijdens de bouw" moet wel bepaald worden welke dagelijkse condities van invloed zijn. Ook tijdens de bouw moet immers de veiligheid tegen overstromen gegarandeerd zijn.

N.B. Als de bouw toch op enige wijze in het stormseizoen plaatsheeft moet wel rekening worden gehouden met hoe de veiligheid tegen overstromen kan worden gegarandeerd.

Tabel 9.4 Mogelijke scenario's = combinatie van situaties en condities voor hydraulische ontwerprandvoorwaarden. BS betekent Buiten Scope

Conditie en situatie van dam of dijk	Fases waarin dam of dijk wordt belast		
	vóór de bouw	tijdens de bouw	na de bouw
<b>Normcondities (T=1/10.000 tot 1/250)<sup>26</sup></b>			
In bedrijf	BS	1	X
Onderhoud	BS	1	X
Calamiteiten	BS	1	?
IJs			
<b>Operationele, dagelijkse condities (T=0,1 tot 1)</b>			
In bedrijf	BS		X
Onderhoud	BS	X <sup>1</sup>	X
Calamiteiten	BS	X <sup>1</sup>	X
IJs		X	X

1) Tijdens de bouw/renovatie dient rekening te worden gehouden met verwachte dagelijkse condities.

9.7.2 Overzicht van eisen aan de te ontwerpen kering

In deze paragraaf worden de scenario's (= situaties \* condities) gecombineerd met de verschillende functies die een kering kan hebben. Deze worden samengevat in een tabel die een compleet overzicht kan geven met de specificaties van de te ontwerpen kering, per fase (zie paragraaf 9.7.1).

<sup>26</sup> De wettelijke norm is afhankelijk van de locatie in het watersysteem.

### **Functies van dam of dijk**

De hoofdfunctie van een dam of dijk is het beschermen van het gebied erachter tegen overstromingen (dijk), danwel het reduceren van de impact van de belasting voor keringen hierachter (dam). De dam of dijk heeft mogelijk meer dan één functie, maar hoeft deze niet in alle situaties te vervullen. Voor iedere situatie moet in beeld worden gebracht welke functies wanneer vervuld dienen te worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar:

- de wettelijke normcondities (horend bij de waterkerende functie), zoals in de wet vastgelegd;
- de dagelijkse, operationele condities.

### **Toelichting condities**

- **(Wettelijke) normcondities**

De normcondities zijn extreme waterstands- en golfcombinaties die voor de (hoog)water kerende zijde(n) van de dam of dijk in beeld moeten worden gebracht. Daarbij moet worden aangegeven welke functies de dam of dijk, of kunstwerken die hierin zijn verwerkt in deze situatie moet vervullen.

Terugkeertijden die hierbij horen volgens de overschrijdingsnorm variëren van  $T = 1/10.000$  tot  $T = 1/250$ , afhankelijk van het watersysteem en de locatie in het watersysteem.

Terugkeertijden die hierbij horen volgens de overstromingsnorm variëren van  $T = 1/30.000$  tot  $T = 1/250$ , afhankelijk van het watersysteem en de locatie in het watersysteem.

- **Operationele, dagelijkse condities**

De operationele condities zijn de (dagelijkse) condities waaronder de dam of dijk functioneert. Deze condities zullen minder belastend zijn dan extreme situaties (mogelijk m.u.v. belasting door schepen op de vooroever). Inzicht in operationele condities voor dammen en dijken zijn met name van belang voor de aanleg en onderhoud.

### **Bereik van de operationele condities**

Voor de operationele condities moet worden vastgesteld tot welke windcondities, welke waterstand, welke golfbelastingen er mag worden gewerkt en waar. Deze volgen uit zaken als de vogelhabitatrichtlijn en ARBOwetgeving! Terugkeertijden die hierbij horen variëren van  $T = 1$  tot  $T = 1/10$ , afhankelijk van het watersysteem en de locatie in het watersysteem.

### **De opdrachtgever bepaalt**

Alle keuzen en randvoorwaarden moeten worden overlegd met de opdrachtgever. Deze bepaalt, binnen de wettelijke kaders. De hoofdfunctie in het geval van dammen en dijken is het keren van water. Mogelijk zijn er wel een aantal gewenste nevenfuncties (zie paragraaf 9.5).

### **Toelichting Tabel 9.7**

Een overzicht van eisen aan de te ontwerpen kering of keringsysteem voor een situatie (zie Figuur 9.3) kan (per fase) in beeld gebracht worden met behulp van Tabel 9.7. Met kruisjes kan worden aangegeven welke functies de dam of dijk onder verschillende condities dient te vervullen. Daarbij wordt voor elk van de verschillende situaties die in Tabel 9.4 zijn aangekruist, Tabel 9.7 ingevuld. Dit betekent dat er evenveel tabellen moeten zijn als er fases worden onderkend.

In Tabel 9.7 moet afhankelijk van of het om een locatie in het deelsysteem rivieren, delta of zee/meer worden uitgewerkt of er bijzonderheden zijn om rekening mee te houden (bijv die uit Tabel 9.5).



Tabel 9.5 Mogelijke bijzonderheden waarmee in ontwerp rekening mee moet worden gehouden (NB dit is een niet uitputtende lijst!).

Deelsysteem	Vb bijzonderheid	Te belichten zijden	
Rivieren	retentiegebied	bovenstrooms	benedenstrooms
Delta	Kering	rivierzijde	Zee/meerzijde
Zee/meer	Haven	Landzijde, in de haven	Zee/meerzijde, buiten de haven
Zee/meer	Dam met spui	meerzijde	Zeezijde

### Ter overweging

- In hoeverre kan een spuisluis nog spuien bij extreme waterstanden? Niet kunnen spuien heeft gevolgen voor de waterstand achter de spuisluis, en daarmee ook op de golfcondities.
- In hoeverre beïnvloedt een dichte stormvloedkering de waterstand in de negatieve zin?

### 9.7.3 Fases: vóór, tijdens en na de bouw

Het beschrijven van de extreme en operationele condities (i.e. set van hydraulische ontwerpvoorwaarden) voor de eindsituatie biedt niet voldoende zekerheid voor het ontwerp. Het bouwproces kan nog bijzondere situaties opleveren die een beperking kunnen opleveren in de uitvoerbaarheid. De uitgangspunten voor de werkzaamheden aangaande de randvoorwaarden dienen ook te zijn beschreven. Hiertoe behoren onder meer informatie over GHW, GLW, Springtij en Doodtij.

Tabel 9.6 Waterstanden en ontwerppeilen

Dijk- vak no.	Ontwerppeil [m] tov NAP	GHW [m] tov NAP	GLW [m] tov. NAP	Springtij		Doodtij	
				HW [m] tov NAP	LW [m] tov. NAP	HW [m] tov NAP	LW [m] tov. NAP
121	3,7	1,60	-1,40	1,80	-1,45	1,35	-1,25
122a	3,7	1,60	-1,40	1,85	-1,45	1,35	-1,25
122b	3,7	1,65	-1,40	1,85	-1,45	1,35	-1,25

Hierbij is het ontwerppeil gedefinieerd als:

Ontwerppeil (20xy)

= Basispeil (1985) + hoogwaterstijging in planperiode (1985 tm 20xy).

De basis voor de hoog- en laagwaterstanden is het getijtafelboekje (SDU, wordt jaarlijks uitgegeven). voor gemiddeld tij, springtij en doodtij zijn hierin de hoog- en laagwaterstanden gegeven op een aantal meetstations. Deze moeten worden doorvertaald naar het betreffende dijkvak waarvoor er een ontwerp wordt gemaakt.

25 september 2015, definitief

Tabel 9.7 Tabel voor het beschrijven van een situatie gecombineerd met condities en Functies. Voorbeeld van het keringssysteem van een dijk met een voorliggende dam

Toestand:.....  
 (indien van toepassing) Fase:.....

	Functies voorliggende dam					Functies dijk				
System Benedenstroms of systeem zeezijde	Keren hoogwater	recreatie	Scheiden watersystemen ::	..		Keren hoogwater	recreatie	verkeer		System Bovenstroms Of systeem landzijde
<b>Wettelijke (norm)condities</b>	Wel of niet bestand tegen normconditie	-	x			x	-	x		<b>Wettelijke (norm)condities</b>
										- Condities waterkeren
<b>Operationele condities</b>	x	x	-			x	x	x		<b>Operationele condities</b>

Tabel 9.8 Beschrijving situatie met Conditie en Functie: Voorbeeld dam met spuisluis

**Toestand:** In bedrijf

**Fase:** Na de bouw

De dam met spuisluis moet de functie “Keren hoogwater” altijd vervullen.

	Functie dam											
Systemeem meerzijde	Keren hoogwater	Spuien	verkeer	Scheepvaart sluis			Keren hoogwater	Spuien	Scheepvaart sluis			Systemeem zeezijde
<b>Extreme (norm)condities</b>												<b>Extreme (norm)condities</b>
- Conditie waterkeren	X						x					- Conditie waterkeren
<b>Operationele condities</b>				X					x			<b>Operationele condities</b>
- Spuiconditie		X	X									- Spuiconditie
- Peil handhaven condities			X	X	X							- Peil handhaven condities

N.B. Het is interessant om deze tabel te vergelijken met de tabel voor de spuisluis in de bewuste dam. De focus zal anders zijn, maar beide tabellen moeten wel op elkaar aansluiten!

**Stap 4: Bepaal en beschrijf mogelijke situaties en scenario's**  
**Een situatie is een combinatie van een toestand (in bedrijf, onderhoud, calamiteit en ijs) en een fase (voor , tijdens of na de bouw).**

- De fase is met name van belang bij nieuwe aanleg van een scheiding van watersystemen, die het gedrag van het systeem en misschien ook wel de indeling in de systemen verandert. Vul hiermee Tabel 9.4 in.
- Bepaal de te beschouwen terugkeertijden uit randvoorwaardenboek voor de normconditie en in overleg met de opdrachtgever voor de operationele condities.

Nu zijn de te beschouwen scenario's beschreven.

Beschouw het keringsysteem.

- Welke functies (zie Tabel 9.2 en Tabel 9.3) vervullen de verschillende onderdelen van het systeem voor welke condities?
- Vul hiermee Tabel 9.7 in, rekening houdend met mogelijke bijzonderheden als in Tabel 9.5.

Hiermee is er een lijst gemaakt van de eisen waar de kering aan moet voldoen. Deze lijst moet per fase (zie paragraaf 9.7.1 en Tabel 9.7) worden uitgewerkt.

Als laatste is het voor de aanleg noodzakelijk om een overzicht te hebben van waterstanden bij Gemiddeld Hoog Water (GHW) Gemiddeld Laag Water (GLW), doortij, springtij, in de ontwerplocaties.

## 9.8 Van scenario's naar benodigde hydraulische ontwerprandvoorwaarden -

## Stap 5

In stap 5 wordt met de focus op de functie waterkeren voor de lijst van scenario's uit de vorige paragraaf de benodigde hydraulische ontwerprandvoorwaarden in beeld gebracht. Aanvullend gelden er voor een aantal andere functies mogelijk nog enkele extra voorwaarden: deze zijn voor een deel al genoemd in paragraaf 9.5.

### 9.8.1 Parameters voor functies van de waterkering

#### **Functie keren hoogwater**

De waterkerende functie is de waterveiligheidsfunctie. Dit is voor dammen en dijken altijd de belangrijkste functie. In de leidraden staat aangegeven dat dammen en dijken voor de waterveiligheid moet worden getoetst op alle bekende faalmechanismen. De belangrijkste hierbij is hoogte, gevolgd door piping, sterkte, stabiliteit, en betrouwbaarheid sluiting van voorliggende keringen. Om deze toetsing te kunnen uitvoeren zijn de hydraulische parameters nodig.

In Deel 1 van dit handboek wordt een beschrijving van de bronnen en bijzonderheden over de specifieke hydraulische ontwerprandvoorwaarden gegeven. Daarna is dit gereduceerd in een beschrijving middels 3 belastingsparameters, te weten waterstand, golven en duur van de belasting (zie ook paragraaf 4.4).

In stap 1 is al bepaald in welk watersysteem de te ontwerpen kering valt en welke elementen moeten worden meegenomen in de bepaling van de belasting. De tabellen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn te vinden in paragraaf 4.4. Specifieker zijn in de Bijlagen 13A en 13B voor de HR/CR, waarin de keuzes zijn beschreven, die gemaakt zijn bij de afleiding van de HR-/CR-getallen.

Voor dammen en dijken geldt dat van alle eerder genoemde veiligheid altijd prioriteit 1 heeft. Hierbij horen de extreme omstandigheden volgens de wettelijke norm. Voor kunstwerken, zoals sluizen, in en dam of dijk wordt verwezen naar een van de verschillende Handboeken. Hierbij is ook een werkwijze vastgelegd (Groot-Wallast, oktober 2013). Voor alle andere belastingen zoals verkeer zal dit doorgaans niet dominant zijn boven de norm

## Andere functies

Naast hoog water keren zijn er in de vorige paragraaf diverse andere functies benoemd van de waterkering, die niet onder alle omstandigheden hoeven kunnen worden uitgevoerd. Een functie als verkeer, zal niet bij iedere windconditie kunnen worden uitgevoerd. Hier zal dus de aansturende parameter zoals wind bepalend zijn voor de grenzen aan functies zoals benoemd in de vorige paragraaf. Doorgaans valt deze binnen het wiskundig bereik van de aansturingsvariabelen (zie paragraaf 5.4) waarvoor de HR/CR-dataset is afgeleid, en stelt geen extremere eisen dan de functie hoogwaterkeren. Slechts in uitzonderlijke gevallen zal zo'n andere functie bepalend zijn voor de maximale belasting van de kering onder normcondities.

Combineren van belastingen Tabel 9.9 bevat een eerste aanzet van mogelijke combinaties van parameters voor verschillende condities en toestanden. Afhankelijk van de locatie in het watersysteem zullen de parameters uit de bovenstaande tabel meer of minder bijdragen aan de belasting (zie Deel 1). Ook hier kunnen de tabellen uit paragraaf 4.4 worden gebruikt om preciezer na te gaan per watersysteem wat er van belang kan zijn. Hierbij dient dan te worden nagegaan welke onderdelen van de resulterende belasting aan de orde zijn, en/of welke aansturende condities hier bij horen. Hiermee kan ook in de tabel de orde grootte van de kansen worden afgeschat. Door deze ook in Tabel 9.9 te zetten, kan als basis worden gebruikt om de nog significante combinaties van parameters te bepalen. De waterbeheerder heeft hiernaast zodanig veel systeemkennis dat deze deze kansen redelijk kan inschatten per locatie.

Doorgaans zullen de corresponderende operationele condities ook doorgerekend zijn in de set van berekeningen die is uitgevoerd ten behoeve van de HR/CR. Als deze gegevens beschikbaar zijn gesteld is het dan nog een kwestie van opzoeken in de database welke belastingen hier bij horen.

Parameters	Extreme condities	Operationele condities
Waterstanden (HR-dataset)	$X^{1,3}$	$X^{1,2,3}$
Windgolven (HR-dataset en lokale groei)	$X^{1,3}$	$X^{1,2,3}$
Op-/afwaaiing	$X^{1,3}$	$X^{1,2,3}$
Seiches en havenresonanties	$X^{1,3}$	$X^{1,2,3}$
Scheepsgeïnduceerde belasting	Afhankelijk van locatie	
• Primaire scheepsgolf		$X^{1,2}$
• Secundaire scheepsgolf		$X^{1,2}$
• Schroefstralen		$X^{1,2}$

<sup>1</sup>In bedrijf; <sup>2</sup>In onderhoud; <sup>3</sup>Bij calamiteiten

Tabel 9.9  
Belastingcombinaties bij het

ontwerpen van dammen en dijken

*N.B. Enige alertheid op het niet te sterk gecorreleerd zijn van aansturingsvariabelen is raadzaam zie ook (5.4). Stochasten zijn sterk gecorreleerd als deze correlaties groter zijn dan 0,8 (Jongejan, 2014).*

**Voorbeeld te stellen vragen bij het invullen van Tabel 9.9:**

- *Welke combinaties kunnen voorkomen? Tot welke situatie kunnen schepen blijven varen tijdens storm (bijvoorbeeld op de Westerschelde of Eemshaven)? Dus moet er bij extreme situaties nog rekening worden gehouden met scheepsgolven?*
- *Waar? Op welke locatie is/komt de dam of dijk?  
Kunnen scheepsgolven vlak bij de kering optreden? In combinatie met opwaaiing en seiches bijvoorbeeld?*
- *Voor welk onderdeel komen de combinaties voor?  
Geldt de belastingcombinatie voor de kering als geheel, een deel van de bekleding, de vooroeverbescherming of anders?  
Voor de steenzetting onderaan het talud van de kering is een laagwatersituatie meer maatgevend dan hoogwater.*
- *Per functie: Welke situatie en condities betreft dit? Welke terugkeertijd hoort hier bij, of welke maximale aansturende parameter? Danwel belasting?  
In stap 4 zijn de verschillende situaties en condities beschreven.*
- *Komen deze inderdaad gecombineerd voor? Welke gecombineerde terugkeertijd, kans van voorkomen hoort hierbij? Welke belastingsparameters horen hier bij?  
Raadpleeg de tabellen uit paragraaf 4.4.*

**9.8.1.1 Extreme condities**

De combinatie van parameters voor de extreme condities die als maatgevende combinatie dienen te worden beschouwd voor het ontwerp, hangen samen met de te hanteren norm. Deze kan per gebied anders zijn. De te beschouwen condities hangen samen met de maatgevende belasting zoals deze is afgeleid in de toetsing. Immers een ontwerp moet een toetsing kunnen doorstaan, nu en in de 50 danwel 100 jaar (bijv als kering moeilijk uitbreidbaar) erna. Dit betekent dus ook dat het niet voldoende is om de vigerende HR of CR toe te passen.

- Hierbij moeten robuustheidstoelagen worden bepaald op basis van de laatste inzichten (zie hoofdstuk 6).
- Met medeneming van hoe deze wordt toegepast bij de faalmechanismen.(zie hoofdstuk 7)
- En zal rekening moeten worden gehouden met wat er al wel en wat niet in de HR of CR is verwerkt. (zie Bijlagen C en D)

Het is hier zaak om de verschillende gegevens te verzamelen.

Hierbij wordt de gebruiker geholpen door de referenties achter de aandachtspunten hierboven.

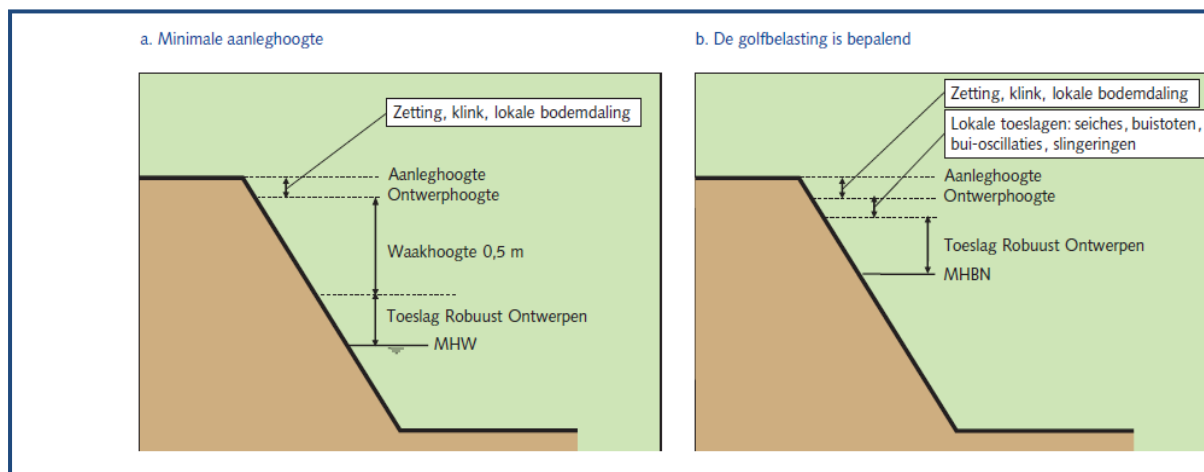
Ter illustratie staat hieronder een figuur uit de TROB opgenomen voor het toets- en ontwerpspoor 'Hoogte'.

Er wordt in de TROB onderscheid gemaakt naar situaties die golfgedomineerd zijn en die waterstandsgedomineerd zijn.

De toeslag robuust ontwerpen als in Figuur 9.10, heeft bij een waterstandsgedomineerd systeem alleen betrekking op de waterstand, en bij een golfgedomineerd systeem zouden dit zowel golven als waterstand moeten zijn. In het addendum voor Zee en Meerdijken (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 25 maart 2009) lijkt dit echter alleen betrekking te hebben op de golven. Het effect van daar genoemde toeslag is overigens nader uitgewerkt in Bijlage G.

Ter vergelijking zou ook Figuur 7.1 kunnen helpen bij wat de bedoeling is van de combinaties.

Figuur 9.10 Combinatie van randvoorwaarden voor extreme condities voor toets- en ontwerpspoor 'Hoogte', Bron: Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied, blz. 13)



### 9.8.1.2 Operationele condities

De combinaties van parameters die in operationele condities waarschijnlijk zijn, dienen voor iedere situatie gedefinieerd te worden, zie hoofdstuk 0. Voor deze condities geven Leidraden of Technische Rapporten geen aanwijzingen. Het vastleggen van de gemaakte keuzes is hierbij van belang. Tabel 9.9 kan hierbij als handvat worden gebruikt. Als basis kunnen wel de bijbehorende belastingen worden opgezocht in dezelfde tabel als die voor de HR/CR gebruikt is. Op deze wijze corresponderen de operationele en extreme condities ook met elkaar, en kunnen ook toeslagen e.d. op elkaar worden afgestemd. En hoewel de gegevens uit de HR- of CR-dataset niet geoptimaliseerd zijn voor operationele condities en extrapoleren richting deze zijde wat kanttekeningen behoeft, zal een dergelijke werkwijze beter aansluiten dan vanaf nul opbouwen vanaf welke data dan ook.

### 9.8.1.3 Maatgevend verval

De ontwerpparameter “verval” vraagt bijzondere aandacht. Deze parameter is het resultaat van een binnen- en buitenwaterstand.

Fraetische lijn in kering is met name van belang voor piping en heave.

## 9.8.2 Kwantificeren hydraulische ontwerprandvoorwaarden (Hoofdstuk 10- Hoofdstuk 11) – [Stap 6](#)

In stap 6 worden de hydraulische ontwerprandvoorwaarden gekwantificeerd. Voor het kwantificeren van de parameters kan gebruik worden gemaakt van (beschikbare) gegevens uit eerdere studies/metingen en databases, zoals die van de HR/CR. Deze moeten vervolgens worden vertaald naar ontwerprandvoorwaarden voor de dam of dijk. Deze complexe stap is in 2 substappen onderverdeeld.

### **Onderverdeling Stap 6:**

- *Stap 6.1 Inventariseren en analyseren van beschikbare gegevens, zie Hoofdstuk 10.1*
- *Stap 6.2 Vertalen data naar dam of dijk, zie Hoofdstuk 11.*

## 9.9 Rapportage hydraulische ontwerprandvoorwaarden-

### Stap 7

De rapportage heeft als doel de afleiding van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden op een gestructureerde manier, van stap 1 tot en met stap 6, vast te leggen.

Het dient aanbeveling om, indien voor een project de hydraulische ontwerprandvoorwaarden met dit handboek zijn afgeleid, de rapportage toe te voegen aan dit handboek, in een lijst en ook als voorbeeld. Op deze manier ontstaat een database met praktijkvoorbeelden waarmee het handboek kan worden verbeterd en/of aangevuld. Zie Hoofdstuk 1.

## 9.10 Vaststellen hydraulische ontwerprandvoorwaarden-

### Stap 8

In de rapportage wordt vastgelegd op basis van welke aannames en uitgangspunten de hydraulische ontwerprandvoorwaarden tot stand zijn gekomen. Het is noodzakelijk de aannames en uitgangspunten ook status te geven. Deze zijn in stap 0 al aan de orde geweest en vastgelegd. Dat kan bijvoorbeeld door het document (door de opdrachtgever) te laten vaststellen als basis voor het vervolg van het project, tot en met de uitvoering. Het (laten) vaststellen van hydraulische ontwerprandvoorwaarden is op dit moment niet vereist. Het is aan de opdrachtgever (Rijkswaterstaat) om hiervoor te kiezen. De betreffende procedure die Rijkswaterstaat (WVL) voorstelt te volgen, is in het handboek integraal overgenomen.



**Procedure kaderstellende rol WVl ten aanzien van ontwerp van dammen en dijken in beheer van RWS****Rol van WVl**

Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVl) vervult een kaderstellende rol voor de werkprocessen van Rijkswaterstaat. Voor het ontwerp van dammen en dijken die bij RWS in beheer zijn gaat het om de toepassing van de kaders van het ENW die hiervoor beschikbaar zijn, te weten de door de Minister van I&M beschikbaar gestelde Leidraden en Technische Rapporten voor beheer, toetsing en ontwerp van waterkeringen, aangevuld/aangepast conform het Ontwerp Instrumentarium 2014 en verder.

De rol van WVl met betrekking tot deze leidraden en technische rapporten is als volgt:

- **RWS WVl voert in opdracht van DGRW het beheer van deze kaders**  
Dit houdt in dat WVl, afdeling Waterkeren regie voert over kennisontwikkeling rond sterkte en belastingen van waterkeringen, en de resultaten hiervan verwerkt in de leidraden en technische rapporten. Dit beheer is ingebed in een breed proces van afstemming met keringbeheerders, de kenniswereld en relevante beleidsprocessen (bij DGRW en b.v. bij het bredere trajecten van het Deltaprogramma).
- **RWS WVl draagt zorg voor advisering en borging van juiste toepassing van deze kaders**  
Binnen Rijkswaterstaat staat WVl afdeling Waterkeren aan de lat om de correcte toepassing van de leidraden en technische rapporten te borgen binnen de processen van beheer, toetsing en ontwerp van waterkeringen, maar ook in beleidsprocessen zoals het Deltaprogramma.

Verbinding tussen kennisontwikkeling en beleid met de projecten vormt de centrale meerwaarde van WVl in de ontwikkeling van RWS projecten waarin de waterkerende functie een rol speelt.

**Procesmatige afspraken voor inzet WVl, afdeling Waterkeren bij ontwerp van keringen met een waterkerende functie**

Vooraf: de werkprocessen binnen Rijkswaterstaat zijn in beweging. De processen op hoofdlijnen zijn herijkt, maar zijn nog onderwerp van uitwerking. Onderstaande procedurebeschrijving betreft een werkafpraak die aangehouden kan worden tussen Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud (GPO) en WVl.

WVl, afdeling Waterkeren wordt op de volgende wijze betrokken bij het ontwerp van Keringen met een waterkerende functie:

- Alle kennisvragen worden centraal gesteld via het programmabureau verkenning en planuitwerking van WVl. Hiermee wordt geborgd dat procesmatig uniform gewerkt wordt, en het programmabureau haar coördinerende rol voor alle MIRT projecten kan vervullen.
- Parallel wordt het afdelingshoofd van de afdeling Waterkeren op de hoogte gesteld van de kennisvraag. Hiermee kan de afdeling Waterkeren tijdig, informeel anticiperen op het aansluiten van vraag en aanbod.
- Uitgangspunt voor de betrokkenheid van WVl, afdeling Waterkeren is dat de expertise niet slechts wordt benut voor kwaliteitsborging achteraf. Het is gewenst dat de afdeling Waterkeren vroegtijdig in verkenning en planvorming betrokken is, zodat GPO aan de voorkant geadviseerd kan worden over de juiste uitwerking van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden.

## 10 Beschikbare gegevens

### Stap 6.1

#### 10.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft Stap 6.1, de inventarisatie van beschikbare gegevens. Hierin wordt toegelicht welke informatie een mogelijk vertrekpunt kan zijn om hydraulische ontwerprandvoorwaarden te kunnen vaststellen. Er wordt onderscheid gemaakt in:

- landelijke studies ten behoeve van het wettelijk toetsinstrumentarium (extreme condities, zie Paragraaf 10.2 en 10.3)
- landelijke meetcampagnes (zie Paragraaf 10.4).

#### 10.2 HR: Extremen en normcondities

Extreme condities worden bepaald op basis van statistische analyses van meetgegevens. Meetdata kunnen immers alleen door extrapolatie worden vertaald naar waarden voor extremere situaties dan gemeten. Deze zijn invoer voor modellen die deze condities naar nearshore condities vertalen.

Voor het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI) zijn voor de primaire waterkeringen (statistische) analyses uitgevoerd voor de zogenoemde wettelijk vigerende normcondities. Per gebied kan de norm verschillen. De hieruit resulterende dataset van extremen die is goedgekeurd door de verantwoordelijk minister wordt aangeduid met de Hydraulische Randvoorwaarden (HR). De laatste keer dat dit is gebeurd was in 2006. Om die reden heten de uitkomsten van het WTI2011 ook ConceptRandvoorwaarden (CR2011)<sup>27</sup>.

Als uitgangspunt voor ontwerpen wordt er in de Leidraden steeds verwezen naar de HR. Echter de gerechtelijke uitspraak rond Wilnis (Rechtspraak.nl, 2012) luidt dat er uit moet worden gegaan van de stand der techniek van dat moment. Daarom kunnen de CR2011 ook als uitgangspunt dienen.

N.B. voor de leesbaarheid zal er in de rest van dit hoofdstuk gesproken worden over de HR-dataset waar HR2006-dataset danwel CR2011-dataset wordt bedoelt.

Op dit moment wordt nog gerekend met één overschrijdingsnorm voor één dijkkring en moet een kering in de dijkkring overal aan deze norm voldoen. Bij de volgende oplevering van het WTI in 2017 zal er worden overgegaan op het Lokaal Individueel Risico, een overstromingskans, met als gevolg dat er kan worden geoptimaliseerd.

##### 10.2.1 Startpunt

De HR-dataset is destijds afgeleid voor de toetsing van de gehele primaire waterkering. De HR (geldigheidsduur van minimaal 5 of 6 jaar) die uit deze dataset is afgeleid als meest waarschijnlijke belasting, waren bedoeld voor de periodieke toetsing van de primaire waterkering, en kunnen volgens de huidige vigerende (ontwerp)leidraden worden vertaald naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Echter, bij een dergelijke werkwijze kan er mogelijk een probleem zijn bij de overgang van de overschrijdingskansnorm naar de overstromingskansnorm, bij het toetsen na 2017. Deze normen laten zich namelijk niet direct in elkaar vertalen. Een volgens de oude methode afgeleide set ontwerprandvoorwaarden zou dus, volgens de WTI2017, wel eens niet kunnen voldoen. Toch kan er gebruik worden gemaakt van dezelfde set aan gegevens, i.e. de berekeningenset van waterstanden en golfcondities.

<sup>27</sup> En dus geen HR2011.

Voor alle primaire keringen zijn HR beschikbaar, uit 2006 en is ook de HR—dataset opvraagbaar. Deze zijn te vinden in Hydraulische Randvoorwaarden (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007) (digitaal beschikbaar via [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)). Hierin staat informatie over:

- de geldende normconditie per gebied;
- waterstanden bij normcondities per watersysteem;
- een maatgevende combinatie van waterstand en golfcondities behorend bij de norm voor locaties waar golven ook een rol spelen.

En ook de CR2011 zijn op verzoek leverbaar via de Helpdesk Water.

Voor ontwerpen met de oude systematiek is dit een goed uitgangspunt.

Voor ontwerpen met de OI2014, zal de ontwerper zelf met de beschikbare hydra-modellen zijn ontwerprandvoorwaarden moeten afleiden (zie (Deltares, augustus 2014)). Hierbij dient dan rekening te worden gehouden met de nieuwste inzichten op het gebied van de nieuwe normering, schalingsfactoren en lengte-effecten en dergelijke, maar ook op het gebied van (robuustheid/onzekerheid) en relevante veranderingen (ZSS, maatregelen). Alle zijn te vinden op te vragen bij de Helpdesk-water.

Overigens is het idee van een vaste norm voor een bepaalde locatie nog wel van kracht.

#### **Let op!**

*Een dam die twee waters van elkaar scheidt kan een norm hebben die aan beide zijden verschilt, of er is geen norm toegekend aan 1 zijde. Dit is bijvoorbeeld zo voor de de Afsluitdijk aan de IJsselmeerzijde. Aan deze zijde heeft deze ook geen waterkerende functie richting de Waddenzee.*

Voor zowel de nieuwe als de oude systematiek geldt dat de set van gegevens die ten grondslag liggen aan de HR als startpunt dienen te worden gebruikt voor het opstellen van hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Inzicht in de totstandkoming van deze HR-dataset is hiervoor noodzakelijk. Hiervoor kan de rapportage die hoort bij de HR gebruikt worden. Zie Bijlagen 13A tm 13D voor een korte introductie en de literatuurlijst.

## 10.2.2 Aandachtspunten bij de HR-dataset

### Stap 6 > Stap 6.1

In het algemeen geldt: de HR-dataset bevat voor elke locatie langs de primaire waterkering:

- één waterstand
- voor locaties langs de kust, waar golven een belangrijke rol spelen, één golfhoogte en één golfperiode (en afhankelijk van de locatie soms een golfrichting).

Overigens geldt voor golftrandvoorwaarden: waar deze niet in het HR-boek gemeld zijn, zijn deze vaak wel berekend, en beschikbaar.

Deze HR komen uit een database met resultaten van (probabilistische) berekeningen. Het zogenaamde illustratiepunt geeft:

- of de meest waarschijnlijke waterstand,
- of een combinatie van waterstand en golfhoogte.

Voor de constructie geldt dat de de faalgrens, gegeven de normconditie, de maximaal toelaatbare belasting weergeeft waarbij de kering nog net niet faalt. Elk faalmechanisme heeft zijn eigen faalkromme met illustratiepunt (zie Figuur 7.1). Dit punt, is de conditie die in het HR-boek is opgenomen.

### **Gebruik van HR of de set die daaraan ten grondslag ligt voor de bepaling van hydraulische ontwerprandvoorwaarden**

#### **Aandachtspunten:**

- Niet voor alle HR is het onderliggende illustratiepunt (sterk) onderscheidend ten opzichte van andere combinaties van parameters (bijv. waterstand en golfhoogte).
- De modelberekeningen voor de HR zijn opgezet voor extreme condities en een (toets)periode van vijf of zes jaar. Als de HR niet zijn geupdate bij de laatste vaststelling van de HR zijn deze uitkomsten dus minimaal 6 jaar ouder.
- Er dient altijd te worden nagegaan in hoeverre de HR afwijken van de 'state of the art' en hoe hiervoor te compenseren. Mogelijk is er nieuwe kennis beschikbaar.
- De stand der techniek voor het bepalen van de HR is bevroren voor de uitvoering van de berekeningen. Voor de HR2006 is dit zo rond 2002 geweest. Er moet bij het nagaan van nieuwe ontwikkelingen dus vanaf ca 2002 worden gezocht.
- HR worden (om modeltechnische redenen) afgeleid **niet** op de teen van de dam of dijk, maar verder weg. Voor locaties langs de kust is de uitvoerlocatie voor dijken en dammen 50 meter van de teen van dijk of dam. Er wordt vanuit gegaan dat dit overeen komt met 100 meter van de kruin van de dijk of dam. Voor rivieren zijn de HR, waterstanden, gedefinieerd op de as van de rivier<sup>5</sup>. Een vertaling naar de teen van de dam of dijk is nodig, in ieder geval voor de toetsing van het ontwerp.
- Voor rivieren en sommige bredere wateren zijn de HR, waterstanden, gedefinieerd op de as van de rivier<sup>5</sup>. In deze waterstanden is veelal geen rekening gehouden met scheefstand door wind en bochtwerking. Voor de bepaling van de kruinhoogte moeten deze effecten wel degelijk worden meegenomen.
- Voor de beneden- en bovenrivieren, meren en IJsseldelta zijn met de HR 2006 ook waterstandsverlopen beschikbaar gesteld. Voor de kust zijn deze verlopen beperkt beschikbaar. Beschikbare gegevens zijn opgenomen in de Hoofdstuk 2 van de HR2006 [8]. Recentere aanvullende data met betrekking tot waterstandsverlopen, (opgesteld voor de HR2011) kunnen (sinds ca april 2013) bij de Helpdesk Water (o.a. voor de kust) worden opgevraagd.

<sup>4</sup>Vanaf 2007 is deze mogelijkheid in diverse modellen informeel beschikbaar.

### **Achtergronden bij de HR**

Per locatie kan worden gezocht worden naar de achtergronden van de vigerende HR. Deze zijn opgenomen in Appendix C en D. Hierin zijn de uitgangspunten en aandachtspunten van de HR-danwel CR-dataset beschreven. Locatiespecifiek moet rekening worden gehouden met het volgende.

#### A Aandachtspunten:

Zoek de vigerende HR op (aan te vragen bij de Helpdesk Water, met achtergrondinformatie).

- Van welk jaar zijn deze?
- Wat was de stand der techniek van toen?
  - o Wat zit er al in aan:
    - Welke modelcorrecties zijn toegepast?
    - Tot en met welk jaar is zeespiegelstijging verdisconteerd in de HR?

- Zijn er in de berekeningen voor de HR bodemverlagingen meegenomen?

Dit is het vertrekpunt voor een eerste ontwerp, en daarom moet de ontwerper zich goed op de hoogte stellen wat er al is meegenomen in de set van de HR-getallen en wat niet. Dit om dubbeltellingen te voorkomen.

De onderbouwing van de berekeningen is bekend en *de hele set van berekeningen* kan beschikbaar worden gesteld. Dat is, gezien bovenstaande aandachtspunten, een goed vertrekpunt voor de bepaling van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Het is een beter vertrekpunt dan alleen de maatgevende waterstand of maatgevende combinatie van waterstand en golven van het illustratiepunt. Bovendien zijn de gegevens uit deze database ook bruikbaar voor juist minder extreme condities of juist extremere condities in geval van wijzigingen in de nieuwe inzichten rond bijvoorbeeld klimaatverandering of onzekerheden. Bij de aanleg of bij het definiëren van condities bij kunstwerken kan dit zeer bruikbaar zijn.

### 10.3 Modellen en aansturing in de vigerende HR

#### Stap 6 > Stap 6.1

Ook is het nodig om te weten wat de achtergronden zijn bij de toe te passen HR. Het kan immers zijn dat er nieuwe interessante ontwikkelingen zijn geweest in de modelering of dat er nieuw verificatiemateriaal beschikbaar is gekomen.

Onderstaande vragen helpen hierbij om dit scherp te houden. In Bijlage A t/m D staat de achtergrond van deHR2006 en CR2011. Bij de Helpdeskwater is op te vragen of er nieuwe ontwikkelingen zijn die bij het maken van het ontwerp in acht moeten worden genomen.

#### B Achtergrond metingen en modellen

- Welke set aan data is gebruikt voor de verificatie van het model?
- Is er veel data bij gekomen tot aan nu? Stormen, waterstandsmetingen, uitbreiding statistiek?
- Zijn er aanpassingen in bodem sinds de afleiding van de dataset voor de HR-berekeningen?
- Misschien is er ook wel een prognosestudie uitgevoerd zoals voor de Oosterschelde op basis van de bodemveranderingen (Hordijk, 21 maart 2007) en (Jacobse, Scholl, & Koppel, 8 november 2008). Deze zal dan moeten worden meebeschoofd.
- 

#### C Stand der techniek HR versus nu

- Welke versies van model en invoer is toegepast?
- Welke ontwikkelingen zijn er geweest in de modelfysica sinds de versie van de HR?
- Zijn er aanpassingen in modelversie? Zijn er veranderingen nodig in de instellingen die moeten worden toegepast? Wat zijn de veranderingen in resultaten die dat met zich meebrengt?
- Zijn deze gekwantificeerd?
- Is het oude model met een correctie aan te passen zodanig dat het past bij de huidige stand der techniek?

### 10.4 Overige data

Naast de HR-set die gebruikt kan worden voor de wettelijke normcondities (of deze nu volgens de LIR zijn of overschrijdingsnormen betref), kunnen data uit het landelijk meetnet voor de operationele condities gebruikt worden voor de keuze van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Er zijn verschillende bronnen te raadplegen. Deze data moeten echter vooraf getoetst worden op geschiktheid en representativiteit!

Bovendien geldt: uiteindelijk moet er getoetst worden met de HR.

Door hier al op aan te sluiten in het ontwerp kunnen vervelende verrassingen worden gekomen.

N.B. Aan de de HR- en CR-berekeningen is een lang onderzoekstraject met verificatie, kalibratie en validatie van metingen en modellen, en modelinstellingen (fysisch en numeriek) vooraf gegaan. Daarom:

#### 10.4.1 Startpunt

Voor gegevens over de locatie kunnen, als deze er zijn, de data uit meetcampagnes van Rijkswaterstaat opgevraagd worden.

***Aanbevolen wordt alleen zelf berekeningen uit te voeren als er geen gegevens beschikbaar gesteld kunnen worden via de helpdeskwater of als bekend is dat de huidige getallen duidelijk te wensen over laten en dit niet reparabel is!***

#### Online informatie

Online kunnen o.a. de volgende gegevens geraadpleegd worden:

- Helpdesk Water  
[www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl) en [servicedesk\\_data@rws.nl](mailto:servicedesk_data@rws.nl)
- Waterbase (voor historische meetdata)  
Via [www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata\\_waterberichtgeving/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata_waterberichtgeving/)



#### **Let op!**

*Deze website geeft geen overzicht van de data (parameters en tijdsperiode) die voor een locatie beschikbaar zijn. (trial and error of vraag Helpdesk Water).*

In principe zijn de volgende parameters beschikbaar:

- Waterstanden
  - Afvoeren en stroomsnelheden
  - Golven
  - Stroming
  - Zoutgehalte
- DONAR (Data Opslag NATte Rijkswaterstaat)  
<https://data.overheid.nl/>  
Deze bron bevat zeer veel informatie, ook projectdata. Het is echter niet eenvoudig hierin de weg te vinden.  
Hiernaast zijn er fouten bekend die niet gecorrigeerd worden!  
Programma's, zoals Wet-Wet-Wet kunnen hierbij helpen.  
Voor IJsselmeer, Westerschelde en Oosterschelde is dat beschikbaar via Maandrapportages Westerschelde en WebWAVES:

url: <http://demo.xi-alles.nl/webwaves/>

logingegevens zijn op te vragen via XI-advies en Deltares

Informatie van de Westerschelde en Oosterschelde inclusief overschrijdingskrommes is beschikbaar via

url: <http://demo.xi-alles.nl/veldmetingen/>

logingegevens zijn op te vragen via XI-advies en Deltares na aanmelding op de site

Meetgegevens van deze sites zijn niet alleen via de methodiek van RWS gevalideerd, maar ook via WAVES. Geconstateerd fouten zijn in de database van XI-advies wel gecorrigeerd, in tenstelling tot DONAR!

- Actuele watergegevens (waterdata op kaart)

[www.rijkswaterstaat.nl/geotool/](http://www.rijkswaterstaat.nl/geotool/)

- Waterstanden
- Zoutgehaltes
- Temperatuur
- Stroming (richting)
- Golven
- Waterafvoer en stroomsnelheid
- Astronomisch getij

Stap 6 > Stap 6.1

- Getijtafels 2013  
Astronomische getijcomponenten

- HMCZ: Hydro Meteo Centrum Zeeland.

[http://waterberichtgeving.rws.nl/nl/hydro-meteo-centra\\_hmc-zeeland.htm](http://waterberichtgeving.rws.nl/nl/hydro-meteo-centra_hmc-zeeland.htm) Meetgegevens van de Zeeuwse Wateren (deze gegevens zijn ook op te vragen via webwaves. De gegevens van HMCZ zijn echter niet direct visualiseerbaar en daarmee minder toegankelijk.)

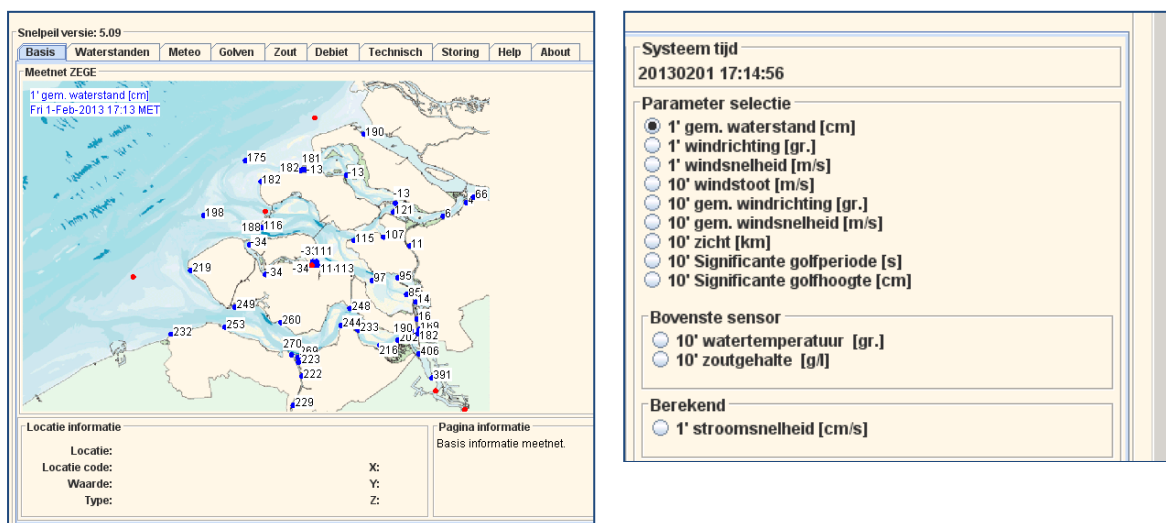
Meetgegevens van de Noordzee

Meetgegevens van de Hollandse Kust

Meetgegevens van de Noordzee

Zie Figuur 6.1 voor de beschikbare parameters.

Figuur 10.1 Meetgegevens Hydro Meteo Centra (HMC)



- ANI voor gegevens over rivierafvoeren:

[Meetinformatiedienst@rws.nl](mailto:Meetinformatiedienst@rws.nl)

- Waternormalen: Tienjarig overzicht 1981-1990 standaardwaarden  
Via:  
[www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata\\_waterberichtgeving/statistieken\\_kengetallen/waternormalen/](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata_waterberichtgeving/statistieken_kengetallen/waternormalen/)
  - Getijvoorspellingen
  - Afvoeren
  - Waterstanden
  - Temperaturen
 ((Let op: de ontwikkeling van de waternormalen tussen 1990-heden is hierin niet verwerkt.))
- <https://data.knmi.nl/>
  - Windgegevens Nederland
- Windklimaat van Nederland
  - Wieringa en Rijkkoord (1984) / Statistische gegevens windklimaat Nederland

## 10.4.2 Check op meetgegevens

## Stap 6 &gt; Stap 6.1

Het is raadzaam om kenmerken van de meetgegevens in kaart te brengen. Zo kan bekeken worden of deze geschikt zijn voor gebruik. Zie voorbeeld in Tabel 9.1

Tabel 10.1 Kenmerken van gegevens

<b>Bovenstrooms</b>		<b>Benedenstrooms</b>	
Dataset	<naam>	Dataset	<naam>
Afkomstig van	<bron>	Afkomstig van	<bron>
Type	extremen of Meetdata	Type	extremen of Meetdata
Locatie	<naam> <coordinaten>	Locatie	<naam> <coordinaten>
Metingen van:	<jjmmdd hhmmss>	Metingen van:	<jjmmdd hhmmss>
Metingen tot:		Metingen tot:	
Meetfrequentie	<frequentie>	Meetfrequentie	<frequentie>
Wat zit er in het signaal/ waarde?*		Wat zit er in het signaal/ waarde?	
Waterstanden	<ja/nee>	Waterstanden	<ja/nee>
Golven	<ja/nee>	Golven	<ja/nee>
Debieten	<ja/nee>	Debieten	<ja/nee>
Welke processen zitten in het signaal?		Welke processen zitten in het signaal?	
Opwaaiing	<ja/nee>	Opwaaiing	<ja/nee>
Seiches	<ja/nee>	Seiches	<ja/nee>
etc.		etc.	
Invloed kunstwerk in metingen?		Invloed kunstwerk in metingen?	



	<ja/nee>		<ja/nee>
--	----------	--	----------

\* Verwerking van data (met filter) heeft ook invloed op wat er in de data zit.

Daarnaast moeten de data ook gecheckt worden op:

- Obvious failures: klopt het ongeveer met wat je verwacht (logica)?
- Consistentie met naastgelegen meetpunten/projecten. Haal bijvoorbeeld minima, maxima en gemiddelden uit de data en leg de waarden vanuit verschillende bronnen naast elkaar.
- Beschikbaarheid en informatie: zijn er voldoende data? Geven de gemeten data voldoende informatie om er de gegevens voor de gehele levensduur van de schutsluis op te baseren (getij, springtij, doottij, nat seizoen, droog seizoen, verleden: trend)?
- Juistheid van de meetgegevens.

### Visualisatie check op juistheid

De check op juistheid kan inzichtelijker worden uitgevoerd door de gegevens (Hs, debieten, waterstanden, etc.) op een kaart of in een grafiek te visualiseren. Het geeft inzicht in waar welke invloeden (kunnen) worden gemeten. Ook *obvious failures* worden dan beter zichtbaar (zie ook bulletlijst hierboven).

Ook voor de officieel vastgestelde HR2006 en de CR2011 is het aan te raden altijd checks uit te voeren. Komen de randvoorwaarden bijv. wel overeen met de buurtpunten, gaat het om de juiste conditie, etc.

### Verwerking en controle

De verwerking van meetgegevens van Rijkswaterstaat is deels de verantwoordelijkheid van Rijkswaterstaat (Centrale Informatie Voorziening). Voor een specifieke toepassing beveelt Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving) doorgaans een controle van de data door een extern bureau aan. Indien nodig kunnen experts een (statistische) analyse van data uitvoeren.

Op basis van deze checks dient toegelicht te worden:

- waarom welke data bruikbaar zijn voor de bepaling van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden;
- Leg dir vast in een traceerbare rapportage!

## 10.5 Overzicht beschikbare data

Voor de verslaglegging van het ontwerp kan het overzicht van beschikbare data via een kaart worden gegeven. Als voorbeeld wordt verwezen naar de kaart van PBZ van de ontwerprandvoorwaarden (zie: (Svašek Hydraulics / Royal Haskonig, februari 2010)) waarbij op de kaart diverse adviezen zijn genoemd, waarna men via een doorklik de adviezen direct kan bekijken.

Daarop staat vermeld:

- welke data er gebruikt is, HR-dataset, metingen of beide,
- waar welke data gemeten of beschikbaar zijn; daarbij wordt onderscheid gemaakt naar HR-data en andere gegevens;
- een beschrijving van de nog ontbrekende data voor de bepaling van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden;
- hoe de ontbrekende gegevens verkregen kunnen worden, indien van toepassing..
- Als dit niet lukt: welke eventuele aannames er worden gedaan, indien van toepassing.

### Aandachtspunten

Indien data voor extreme condities ontbreken is het wellicht mogelijk een procedure te starten om de locatie in de uitvoerpunten van het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI) op te laten nemen.

De gekozen grenzen voor de hydraulische ontwerprandvoorwaarden zoals gedefinieerd in stap 3 (Hoofdstuk 5.5) dienen te worden gecheckt en/of bijgesteld op basis van beschikbare data(punten) nodig.

Het is zaak de data van de verschillende meetpunten te gebruiken, maar niet te interpoleren tussen meetpunten voordat de geschiktheid van data is vastgesteld.

Ook moet vastgesteld worden welke data geschikt zijn voor gebruik voor extreme en voor operationele condities. Zie het voorbeeld in Tabel 10.2.

Tabel 10.2 Voorbeeld keuze waterstanden

<b>Bovenstrooms waterstanden</b>		<b>Benedenstrooms waterstanden</b>	
Extremen	<naam dataset(s)>	Extremen	<naam dataset(s)>
Meetdata	<naam dataset(s)>	Meetdata	<naam dataset(s)>

Indien er voor extreme condities (HR uit de HR-dataset) geen geschikte of te weinig data zijn, is specialistisch advies voor de bepaling van extreme condities noodzakelijk. Voor de vertaling van beschikbare dagelijkse condities naar extreme condities is geen vast recept te geven. Het is daarom wenselijk om te putten uit de dataset die ten grondslag ligt aan de HR. Via de wet openbaarheid bestuur zou deze data beschikbaar moeten zijn. RWS zal hiervoor dan zorg moeten dragen.



## 11 Van data naar hydraulische ontwerprandvoorwaarde Stap 6.2

### 11.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op Stap 6.2, waarin wordt uitgelegd hoe (toets)data of de set die daaraan ten grondslag ligt naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden kunnen worden vertaald.

Stap 6 > Stap 6.2

### 11.2 Robuust ontwerpen

De gekozen data (stap 6.1) dienen voor het ontwerptracé (stap 1 van het stappenplan) vertaald te worden naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden bij de teen van de dam of dijk, omdat dit uiteindelijk de voor de kering bepalende belasting is. Dit geldt overigens voor alle condities zoals genoemd in Tabel 9.9. Het doel is een robuust ontwerp, dat gedurende de gehele levensduur de dam of dijk (zie Paragraaf 11.4.1) aan de gestelde (veiligheids)eisen voldoet.

Voor het ontwerp kan men de nieuwste OntwerpInstrumentarium documenten volgen, of de Leidraden en technische rapporten. Veel uit de oude Leidraden is overigens overgenomen in het OI. Maar het OI 2014 bereid zich voor op het WTI2017 en maakt waar mogelijk gebruik van de laatste inzichten.

De Leidraden en Technische rapporten beschrijven:

- de te volgen werkwijze voor de vertaling van hydraulische toetsrandvoorwaarden naar ontwerprandvoorwaarden; Hierbij wordt uitgegaan van een toetsing volgens de overschrijdingsnorm.
- te hanteren toeslagen voor de veiligheidsfunctie.

De werkwijzen voor de verschillende watersystemen vormen echter geen consistent geheel. Dat heeft te maken met de verschillende tijdsperioden waarin de verschillende leidraden (en addenda) tot stand zijn gekomen. De begrippen “robuust ontwerpen” en “robuustheidstoetsing” worden in de Leidraad Rivieren [11] geïntroduceerd, en komen in eerdere leidraden en rapporten niet voor.

#### **Definitie “robuust ontwerpen”**

- *Leidraad Rivieren* :

*“Goed (Robuust) ontwerpen betekent: in het ontwerp rekening houden met toekomstige ontwikkelingen en onzekerheden zodat het uitgevoerde ontwerp tijdens de planperiode blijft functioneren zonder dat ingrijpende en kostbare aanpassingen noodzakelijk zijn, en dat het ontwerp uitbreidbaar is indien dat economische verantwoord is.” (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 62)*

- *Concretisering in het Technisch Rapport OntwerpBelastingen (hiernaar wordt verwezen in de Leidraad Rivieren):*

*“Robuust ontwerpen betekent dat rekening wordt gehouden met:*

- *toekomstgerichte ontwerpbelastingen;*
- *onzekerheden;*
- *uitbreidbaarheid.” (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007, p. 37)*

#### **“Robuustheidstoetsing”**

*De robuustheidstoetsing wordt in de Leidraden en Addenda niet gedefinieerd. In dit handboek wordt ervan uitgegaan dat de onzekerheden in toekomstgerichte ontwerpbelastingen (ontwerpscenario) en andere onzekerheden in de robuustheidstoetsing worden meegenomen.*

In de praktijk worden de begrippen “robuust ontwerpen” en “robuustheidstoeslag” ook buiten het toepassingsgebied van de Leidraden en rapporten gebruikt.

Het laatste Ontwerpinstrumentarium neemt zoals gezegd delen van het oude instrumentarium over en vult deze aan op een aantal punten, en gaat daarbij uit van een toetsing met een overstromingskansnorm. Dit is wezenlijk anders dan de methode uit de oudere, vigerende leidraden en laat zich niet direct in elkaar vertalen.

### **Toekomstige ontwikkelingen**

Toekomstige ontwikkelingen zijn in deze context aspecten van robuust ontwerpen die de hydraulische ontwerprandvoorwaarden zullen beïnvloeden ergens in de ontwerperperiode. Deze worden in dit hoofdstuk uitgewerkt middels de definitie van het ontwerpscenario Een toelichting op de werkwijze voor robuustheidstoelagen die in dit handboek wordt gebruikt, staat in Paragraaf 11.5.

Hieronder vallen bijvoorbeeld ook het meenemen van onzekerheden in het kader van de WT12017.

### **Uitbreidbaarheid**

Het aspect uitbreidbaarheid heeft vooral ruimtelijk invloed. De Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening (rivieren en meren) en de Beleidslijn Kust stellen hieraan eisen, bijvoorbeeld wat betreft de zogenaamde vrijwaringszones (ruimtereservering). De mogelijkheden voor uitbreidbaarheid van een dam of dijk werken door in de keuze van het ontwerpscenario.

#### ***Ter illustratie***

*Een slechte uitbreidbaarheid vraagt om een ontwerp met een langere levensduur. De mogelijkheden van uitbreidbaarheid in het ontwerp hebben daarmee invloed op de hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Een langere levensduur betekent immers meer ZSS e.d.*

*De aspecten van uitbreidbaarheid in het ontwerp moeten bij het opstellen van het ontwerpscenario goed in beeld zijn. In dit handboek komt dit aspect verder nog zeer beperkt aan de orde in bijlage 13K. Er wordt van uitgegaan dat het voldoende verkend en bekend is.*

### **11.3 Van data naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden**

De data van de uitvoerpunten moeten op een fysisch goede manier (met het juiste model, juiste aansturing en juiste invoer<sup>28</sup>) vertaald worden naar de dam of dijk. De basis hiervoor zijn de toetsrandvoorwaarden uit het HR-boek, danwel de set aan berekeningen die hieraan ten grondslag ligt. Deze wordt aangevuld met het juiste scenario waarmee de toekomst kan worden beschreven. Het moet voor de ontwerper helder zijn welke onzekerheden in data, in de modelleringen en in de toekomstscenario's zitten, om deze juist in het ontwerp mee te kunnen nemen. Ook moet men weten in hoeverre de Zeespiegelstijging, meerpeilstijging en/of met welke waterstand en rivierafvoer (afhankelijk van het watersysteem moet men een of meer van de genoemde stijgingen van de waterstand tgv klimaat meenemen) is gerekend is in de set van de HR/CR, welke bodemdata is toegepast in de HR/CR-set, en welke windaansturing. Het is dan

<sup>28</sup> Zoals de bodemgeometrie

ook de plicht van de ontwerper om de achtergronden bij de HR/CR-set nader te bestuderen. Hierbij geldt ook voor de rapportage over de achtergronden: hoe concreter dit vastligt, hoe beter. Uit de set met randvoorwaarden kan dan een terugkeertijd die past bij de normconditie worden opgezocht, danwel berekend met een van de Hydra-modellen. In Figuur 7.1 liggen deze condities boven de faalkromme.

### Werkwijze normcondities

De normcondities zijn beleidsmatige gegevens: deze zijn vastgelegd door de minister of staatsecretaris, of het nu gaat om de overschrijdingsnorm of de overstromingsnorm. In beide gevallen geldt dat de set van HR-berekeningen op locatie  $X_1, Y_1$  en moment  $t_0$  dienen te worden vertaald naar locatie  $X_2, Y_2$  (de teen van de dam/dijk) en tijdstip  $t_1$  ( $=t_0 + \text{planperiode}$ ), conform de systematiek (van  $t_0$  naar  $t_1$ ) van de vigerende leidraad, danwel het geldende OI.

Het is daarbij van belang om te weten welk jaartal  $t_0$  precies is, hoe de HR/CR-set is afgeleid en of er sprake is van het meenemen van Zeespiegelstijging (ZSS) over welke periode deze zijn berekend. Dit is nodig om enerzijds de juiste ZSS te bepalen, maar ook om dit niet dubbel te doen. De waterstand met ZSS op  $t_1$  en geldende norm bepalen welke berekening als maatgevend kan worden aangemerkt uit de set met berekeningen.

Voor het laatste stuk van  $X_1, Y_1$  naar  $X_2, Y_2$  zal waarschijnlijk het bodemniveau van de HR-dataset op  $t_0$  of ervoor tov die op  $t_1$  binnen de onzekerheidsband (van de bodemligging) vallen. Het voordeel van het feit dat de HR-dataset uitvoerpunten heeft die iets verder van de teen zijn bepaald, is dat toekomstige veranderingen in het voorland nu eenvoudig in de vertaling naar de teen zijn mee te nemen. Hierbij is meenemen van kennis over de bodemontwikkeling noodzakelijk (zie ook paragraaf 11.4). De bodemveranderingen van  $t_0$  of ervoor ten opzichte van die op  $t_1$  in de laatste meters kunnen uit bodemprognoses e.d. worden gehaald (zie bijv. (Hordijk, Prognose schor en slik ontwikkelingen Oosterschelde: Een onderzoek ten behoeve van de versterking van steenbekledingen langs de Oosterschelde, 21 maart 2007) en (Jacobse, Scholl, & Koppel, 8 november 2008). Deze bodem op tijdstip  $t_1$  is dan bepalend voor de belasting door golven op de teen van de aan te passen of te ontwerpen kering. Meer over een te volgen werkwijze is te vinden in paragraaf 11.5.

De normcondities zijn bepalend voor de grootte van de belastingen op de kering. Er dient echter opgemerkt te worden dat er nog per faalmechanisme gewerkt wordt, en dat de maatgevende waterstand of golfconditie voor het ene faalmechanisme anders kan zijn dan die van een andere. Een en ander samen in de zogeheten faalkansbegroting.

### Operationele condities

#### Stap 6 > Stap 6.2

De leidraden en technische rapporten geven geen richting aan de vertaling van meetgegevens naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor operationele condities. Deze operationele condities zijn nodig bij de aanleg van dammen en dijken, maar juist ook voor kunstwerken zijn deze van groot belang. Ten behoeve van de probabilistische berekeningen met Hydra zijn er ook voor voorbereiding van de HR-berekeningen uitgevoerd met veel lagere terugkeertijden dan de normcondities. Deze worden meegeleverd met de Hydra-modellen. De systematiek zoals opgesteld voor de HR/CR, kan dan ook gebruikt worden voor de operationele condities. Resultaten zijn dan ook geheel consistent. In Figuur 7.1 liggen deze condities onder de kromme.

N.B.

Het dient sterk de aanbeveling om juist ook voor operationele condities gebruik te maken van de set die gemaakt is ten behoeve van de HR/CR. Echter bij terugkeertijden lager dan de ondergrens van de set, is het verstandig om hierbij enig advies te vragen aan Risico Afdeling voor Waterbeheer bij Deltares of indien de expertise aanwezig is bij de ontwerper ook de veldmetingenrapportages nader te bestuderen.

#### 11.4 Keuze ontwerpscenario (stap 6.2.1)

In deze stap 6.2.1 wordt het ontwerpscenario voor extreme en operationele condities beschreven aan de hand van vijf aspecten:

- a. Planperiode, levensduur dijk of dam
- b. Wettelijke normfrequentie
- c. Bodem(ontwikkeling)
- d. Klimaatscenario
- e. Verwachte toekomstige ontwikkelingen
- f. Andere mutaties

#### ***Te nemen stappen voor de vertaling van data (HR/CE-set danwel meetdata) naar hydraulische ontwerprandvoorwaarden***

- *Stap 6.2.1 Keuze ontwerpscenario (Paragraaf 11.4)*
  - a. *Bepalen levensduur dijk of dam*
  - b. *Wettelijke normfrequentie opzoeken*
  - c. *Bodem(ontwikkeling) beschrijven*
  - d. *Vastleggen klimaatscenario met Zeespiegelstijging*
  - e. *Beleidsontwikkelingen vaststellen*
  - f. *Andere mutaties*
- *Stap 6.2.2 Vertalen naar gewenste locatie (Paragraaf 11.5)*
  - a. *Welke (aangepaste) data als randvoorwaarde?*
  - b. *Welke fysische verschijnselen spelen hier?*
  - c. *Keuze geschikt model*
  - d. *Berekeningen maken*
    - a. *Met bodemprognose*
    - b. *Bij scenario uit paragraaf 9.8*
- *Stap 6.2.3 Toeslagen (Paragraaf 11.6)*
  - a. *Definitie toeslagen*
  - b. *Kwantificeren van toeslagen*

Een en ander wordt in de volgende subparagrafen nader toegelicht hoe dit moet worden uitgewerkt.

##### 11.4.1 a. Planperiode, levensduur dijk of dam

De beoogde levensduur van een dam of dijk bepaalt het zichtjaar ( $T_1 = T_0 + \text{levensduur}$ ). Daarvoor moet het ontwerpscenario worden gedefinieerd. In deze bepaling moet rekening worden gehouden een levensduur voor dijken/dammen van meestal 50 jaar. In bijzondere gevallen kan

gekozen worden voor een langere levensduur. Dat kan betekenen dat er ontwerpscenario's voor verschillende zichtjaren moeten worden bepaald. Toetsrandvoorwaarden houden alleen rekening met kunstwerken als het gaat om voorliggende kunstwerken zoals deze zijn opgenoemd in

Tabel 3.3 (i.e. niet de dammen en dijken!). Dit is gebeurt doordat het falen van het kunstwerk is meegenomen in de berekeningen voor de HR/CR. Deze beschrijven de hydraulische extreme condities, die geldig zijn tot de volgende toetsronde (ten opzichte van het moment van afleiden). Daarom dienen toetsrandvoorwaarden (op moment  $t_0$ ) vertaald te worden naar het einde van de planperiode, het zichtjaar (moment  $t_1$ ).

De levensduur van een kunstwerk is hierbij een apart issue, evenals het bestand zijn tegen een hogere Zeespiegel en dergelijke.

#### **Bodemstudies**

Bekende bodemstudies die zijn uitgevoerd zijn: De bodemprognose voor de Oosterschelde, de ANT studie op het IJsselmeer. En ook voor rivieren worden in het kader van de WTI2017 bodemontwikkelingen en invloed van de bodem op uitkomsten voor de HR nader beschouwd. Voor de Waddenzee is er in het kader van de WTI2011 een apart advies uitgebracht over hoe om te gaan met de Bodem.

#### 11.4.2 b. Wettelijke normfrequentie

De norm, waarop de verschillende dijkeringen moet worden ontworpen voor de kering van hoogwater, ligt vast. In een beperkt aantal gevallen kan dit leiden tot het samenkomen van 2 normen. Dit kan op een punt zijn, maar ook gelden voor een hele dam.

#### **Opzoeken norm**

*De norm staat onder meer in:*

- *het Hydraulische Randvoorwaarden Boek [8], bedoeld voor de toetsing van de primaire keringen<sup>6</sup>: dit zijn de overschrijdingsnormen.*

• *Het vigerende Ontwerpinstrumentarium document. Hier gaat het om de overstromingskansnorm.*

<sup>6</sup> *Let op! In het kader van WTI2017 wordt de overstap gemaakt van normen gebaseerd op overschrijdingskans naar normen gebaseerd op overstromingskans. Vanaf 2017 zal er dus getoetst worden met de overstromingskansnorm. Hiermee moet de ontwerper rekening houden, en waar mogelijk een afschatting maken voor wat betreft de verschillen in methodieken. Hiermee verandert ook de getalswaarde van de normen!*

N.B.

In de nabije toekomst zal worden overgegaan naar overstromingskansen en het Lokaal Individueel Risico (LIR). Er zal dan een faalkansbegroting worden afgeleid voor de verschillende faalmechanismen. Hierbij kan de ingevulde tabel uit paragraaf 7.4 helpen.

#### 11.4.3 c. Bodem(ontwikkeling)

De hydraulische ontwerprandvoorwaarden worden net als de toetsrandvoorwaarden berekend met een model. Daarin wordt de bodemligging als invoer gebruikt. Aanpassing van de actuele (gemeten) bodem kan nodig zijn om realistische normcondities te modelleren of omdat de bodem zich in de tijd zal ontwikkelen. Dit geldt met name ook voor de laatste meters voor de kering. Deze kan sterk veranderd zijn. Het is voor dit laatste stuk voor de kering relatief eenvoudig om aanpassingen in de bodem te verdisconteren in de ontwerprandvoorwaardegetallen omdat er



toch altijd nog een vertaling nodig is van het uitvoerpunt van het model naar de teen van de dam of dijk.

Voor een aantal gebieden zijn al de nodige studies gedaan naar veranderingen in de bodem, met een grote aandacht voor mutaties vlak voor de kering. Het gaat hierbij om veranderingen sinds het afleiden van de HR/CR-set. Ook variëren de uitgangspunten over hoe om te gaan met de bodem sterk van gebied tot gebied. Zo is voor de Waddenzee een actuele bodem gebruikt, en voor de Hollandse Kust een per dynamische regio anders samengestelde bodem. Hierover is meer te vinden in de Apendices 13C en 13D. Mogelijk kan hier een trend uit worden gehaald. Meer recentere informatie is, indien beschikbaar, op te vragen bij de helpdeskwater.nl

Bij de keuze van de juiste bodem kunnen verschillen tussen de ontwerpscenario's voor extreme en operationele condities ontstaan.

### **Ter illustratie**

*In principe wordt er bij de normconditie vanuit gegaan dat objecten als strekdammen weggeslagen worden, tenzij ze ontworpen zijn om deze normconditie te weerstaan. Is hier geen informatie over, dan wordt een dergelijk object onder extreme condities als verloren beschouwd, ook al is er reststerkte aanwezig.*

*Het uitgangspunt van het ontwerp van havendammen zijn af te leiden uit de randvoorwaarden bij de haveningang. Volgens de VTV kan hierna vervolgens getoetst worden met de spreadsheet golven in havens. Echter: deze methode is vrij conservatief, want deze is opgezet t.b.v. de ontwerpen (!) van steenbekledingen in Zeeland.*

### **Bodemvariatie**

Variatie van de bodem in de tijd kan een natuurlijk proces zijn; denk aan geulmigratie (Oosterschelde) of migratie van zandbanken (Petten). Het kan ook het gevolg zijn van menselijk ingrijpen, bijvoorbeeld het baggerregime en het project "Ruimte voor de Rivier" die invloed hebben op de ontwikkeling van de bodem.

Het is een keuze om wel of niet met deze processen rekening te houden. Hiervoor kan advies bij Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving) worden gevraagd. Zie ook paragraaf 11.4.5. N.B. het gaat hierbij om veranderingen ten opzichte van de bodem zoals toegepast in de HR-dataset, mits men uitgaat van de HR-dataset in het te maken ontwerp (en dus niet van metingen)!

Bij bodemvariatie moet ook rekening worden gehouden met bodemdaling ten gevolge van processen als: gaswinning, baggerwerkzaamheden en ander menselijke maatregelen of activiteiten, of natuurlijke processen. Ook de kering kan te maken hebben met zoutindringing op veen, of verdroging door pompwerkzaamheden e.d. Deze laatste zijn wel van belang voor de kerende hoogte, maar niet voor de af te leiden belastingen.

**Stap 6 > Stap 6.2**

#### 11.4.4 d. Klimaatscenario

Klimaatscenario's bestaan uit voorspellingen over temperatuurstijgingen en veranderingen in luchtstromingspatronen. Deze leiden tot concrete gegevens over zeespiegelstijging (ZSS) en over toename van rivierafvoeren (van Rijn en Maas). Of het nieuwe ontwerp nu ligt in het gebied van de Zee, Delta of Rivier, er moet altijd rekening worden gehouden met klimaatscenario's. Uitgangspunten voor het te hanteren klimaatscenario staan in het OI, danwel de technische rapporten en leidraden. Deze aannames zijn bepaald voor dijken en dammen en zijn niet consistent doorgevoerd. Hiernaast is ook het Nationaal Waterplan (NWP, [9]) geldig. Deze

uitgangspunten staan wettelijk boven de adviezen uit leidraden en technische rapporten. Er geldt:

- Het NWP hanteert de klimaatscenario's KNMI2006
- voor dammen en dijken gaat het hier om een middenscenario.
- In de leidraden staan KNMI2001 en WB21 ook genoemd

*N.B. Hoewel er inmiddels in 2014 een nieuw KNMI-rapport is uitgekomen over klimaatscenario's, worden deze in het OI 2014 nog niet meegenomen, terwijl er wel mutaties zijn.*

In het geval dat een dam of dijk niet uitbreidbaar is: dan moet een zwaarder scenario worden ingezet.

- Het NWP hanteert de verwachtingen van de Deltacommissie (Veerman) als plausibele bovengrens op de lange termijn,
- Het NWP noemt een gemiddelde bodemdaling tot 2050 van 5 cm, (De verwachte bodemdaling varieert sterk over Nederland (0-40cm), zie ook: <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios>)  
N.B. (Actualisatie KNMI-scenario's heeft plaatsgevonden in 2014)

### Bevindingen

- Er moet rekening worden gehouden met meest recente inzichten, *conform de rechterlijk uitspraak inzake Wilnis* (Rechtspraak.nl, 2012).

### Concrete uitgangspunten

Voor *lopende* projecten worden de uitgangspunten met betrekking tot klimaatontwikkeling vastgehouden en niet bijgesteld.

Voor *nieuwe* projecten wordt aangesloten op de laatste inzichten.

### Aandachtspunten bij de klimaatscenario's

Voor wat betreft het verloop in de tijd van de klimaatscenario's:

- Het is raadzaam lineair te interpoleren, rekening houdend met de knik bij 2050.  
*In Figuur 7.3 zijn ter illustratie de waarden genoemd in het NWP [9] in een grafiek uitgezet.*
- Het verloop na 2100 voor de KNMI-scenario's is niet bekend: Rijkswaterstaat (WVL) heeft een advies gegeven met betrekking tot te hanteren zeespiegelstijging en rivierafvoeren na 2100.
- KNMI-scenario's geven waarden voor de absolute zeespiegelstijging, dus exclusief bodemdaling (zie ook paragraaf 11.4.3).
- De Leidraad Rivieren [11] (en het Addendum op de Leidraad Zee en Meerdijken [C6]) - verschenen eerder dan het NWP - geeft andere klimaatscenario's mee voor het ontwerp. Bijgevolg is het NWP [9] het uitgangspunt voor het te hanteren klimaatscenario.
- De bodemontwikkeling varieert over Nederland. Het is niet bekend hoe deze variaties zijn en hoe deze zich zullen (ook na 2100) ontwikkelen. Hierover moeten in overleg (met experts van bijvoorbeeld Deltares (unit Geotechniek)) uitgangspunten worden vastgesteld.
- Ook het NAP is overigens aan verandering onderhevig (Kwaad, 2005).

In de praktijk wordt de onzekerheid in de klimaatscenario's als groot ervaren. Er wordt daarom ook voor gekozen in plaats van één scenario een aantal varianten (de verwachte waarde plus of min de variantie) voor de klimaatscenario's te definiëren en de effecten op de hydraulische ontwerprandvoorwaarden in beeld te brengen. Op grond van de vergelijking van de resultaten

van de verschillende scenario's wordt dan een (politieke) keuze gemaakt voor het aan te houden scenario.

N.B. Corrigeer als volgt voor de toekomst:

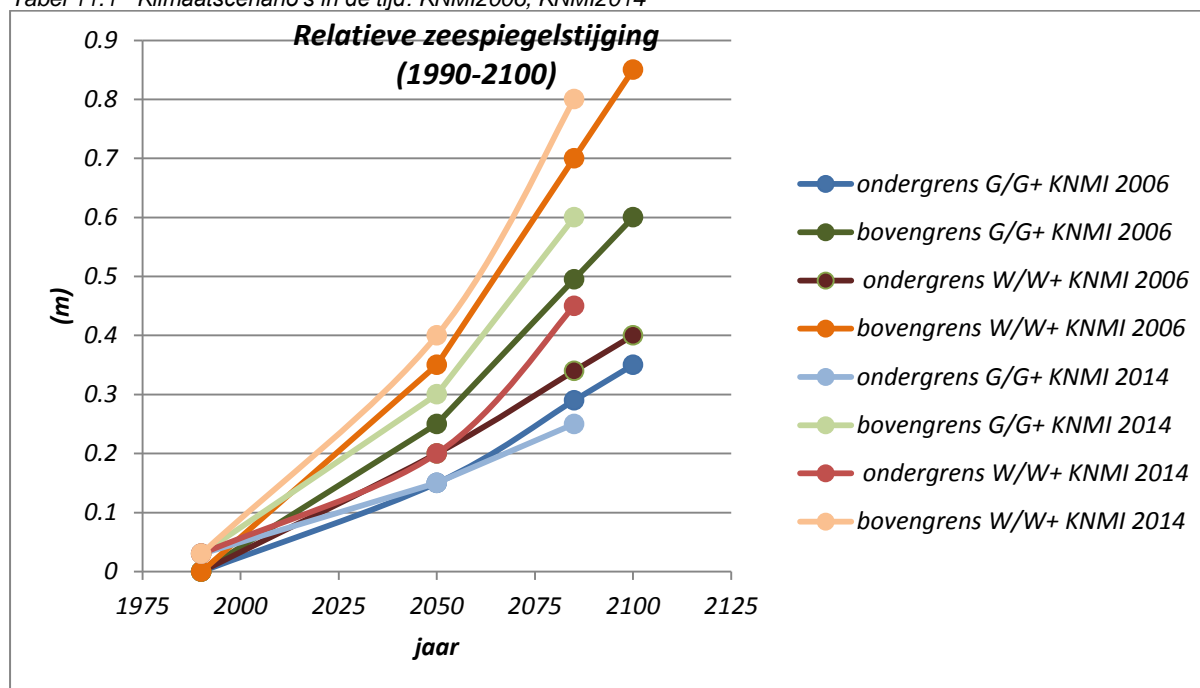
Uitgangspunt is een middenscenario van de KNMI2006 met de aanvullingen uit 2009/2014.

Voor Zee en Delta:

Pas ZeeSpiegelStijging toe vanaf het jaar dat dit niet meer is toegepast in de uitgangsgetallen (de HR/CR –set) tot aan het einde van het zichtjaar.

*N.B. Dit kan dus betekenen dat er voor 60 jaar ZSS moet worden toegepast als de HR/CR met ZSS geldig waren tot 10 jaar vóór het jaar van het ontwerp.*

Tabel 11.1 Klimaatscenario's in de tijd: KNMI2006, KNMI2014



Voor Rivieren en Delta:

Pas de afvoergolf aan en de waterstand. De verwachte toename van regenval is hierin verdisconteerd.

- Neem hierbij de uitbreidbaarheid mee: is het ontwerp niet uitbreidbaar? Kies dan voor een zwaarder klimaatscenario. Het peiljaar van de KNMI-scenario's is 1990: Voor de bepaling van de juiste waarde van zeespiegelstijging moet rekening gehouden worden met de reeds voltrokken zeespiegelstijging volgens het aangehouden ontwerpscenario (de periode van 1990 tot moment van ontwerp van de dam/dijk) en de reeds meegenomen zeespiegelstijging en bodemdaling in de data (HR).

## 11.4.5 e. Beleidsontwikkelingen

In het ontwerp dient rekening te worden gehouden met ontwikkelingen die in de planperiode zijn voorzien. Het gaat om “vaststaande” ontwikkelingen. Mogelijke “voorgenomen” ontwikkelingen worden niet meegenomen. En soms ook wel....

Let op: deze zijn doorgaans ook niet opgenomen in de HR.

**Voorbeeld: schematisatie IJmuiden en Maasvlakte**

*Bij het afleiden van de HR voor 2006 voor de Hollandse kust mochten de 2<sup>e</sup> Maasvlakte en de nieuwe havendammen die gepland waren om te worden uitgevoerd tussen deze tijd en 2011 niet in de berekeningen worden opgenomen. Dit omdat het definitieve besluit bij het bevriezen van de stand der techniek nog niet genomen was.*

*Wel zijn er in het golfvoorspellingsmodel op de geschatte contouren uitvoerlocaties gedefinieerd waar golfparameters zijn berekend en uitgevoerd naar resultaatfiles.*

*Ook voor de WT2011 lag de contour van MV2 met zijn voorland nog niet helemaal vast. Deze is geschat op basis van openbare informatie.*

## Stap 6 &gt; Stap 6.2

## 11.5 Vertalen naar gewenste locatie (stap 6.2.2)

De vertaling van randvoorwaarden op enige afstand naar de teen van de kering (stap 6.2.2) is de verantwoordelijkheid van de beheerder als het gaat om de toetsing. Deze vertaling vereist kennis van zaken. In de VTV (Voorschrift Toetsen op Veiligheid) en de leidraden wordt aangeraden beroep te doen op de expertise van RWS-DWW, -RIKZ en -RIZA. Deze expertise is per 1 januari 2008 overgebracht naar Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving) en Deltares.

N.B. 1 - Deze vertaling naar de teen is nodig: maakt men de vertaling niet bij het toetsen, dan keurt men mogelijk onterecht de kering of een nieuw ontwerp af. Bij rechtstreeks gebruik van de HR- of CR-dataset in het uitvoerpunt ontwerpt men misschien te robuust. Een check of dit is gebeurd zou onderdeel moeten zijn van de allereerste check zoals genoemd in paragraaf 9.1.

N.B. 2 - Er is in de VTV en in het HR-boek niets te vinden over de locatie van het uitvoerpunt en deze nodige vertaling!

De vertaling omvat de volgende stappen:

- Bepalen welke fysische verschijnselen meespelen;
- Bepalen welke (aangepaste) data als hydraulische randvoorwaarde worden gebruikt;
- Kiezen geschikt model voor vertaling van uitvoerlocatie naar teen van de kering.
- Maken van de berekeningen

**Stap a. Bepalen welke (aangepaste) data als hydraulische randvoorwaarde worden gebruikt**

De HR-dataset bevat aannames en/of uitgangspunten. Deze aannames zijn in stap 6.1 beschreven (zie Paragraaf 11.3 en Appendices 13C en 13D). Vervolgens dienen deze aannames/uitgangspunten naast de uitgangspunten voor het ontwerp(scenario) te worden gelegd. Hiermee worden de verschillen duidelijk tussen aannames achter de hydraulische randvoorwaarden voor de toetsing tov die voor het ontwerp. Er moet vervolgens bepaald worden of en op welke manier deze verschillen aanleiding geven tot verandering in de toe te passen terugkeertijd in de toe te passen bodem, in de toe te passen zeespiegelstijging, etc.. Tabel 11.2 laat zien op welke manier de verschillen in beeld kunnen worden gebracht.

Tabel 11.2 Voorbeeld verschillen extremen en ontwerpscenario

	Basis van de HR/toetsing	Ontwerp dam/dijk wel uitbreidbaar	Ontwerp dam/dijk niet uitbreidbaar	Correctie gewenst voor:
Ontwerptijd/ geldigheid	5 of 6 jaar	50 jaar	100 jaar	ZSS voor deel dat niet in HR-dataset is opgenomen
Norm	Obv overschrijding	Obv overstromingskans	Obv overstromingskans	Check grenzen en verbindende waterkeringen
Bodem	Wisselend, afhankelijk van locatie (zie Appendices 13C en 13D)	Globale prognose	Globale prognose	Voor prognose minus de uitgangsbodem van de HR-dataset
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ontwikkeling</li> </ul>	Niet in model meegenomen	Wel in model meenemen	Geulmigratie	Let op geulen voor de kering. Zijn er mutaties tov de HR-bodem?
<ul style="list-style-type: none"> <li>Havendammen</li> </ul>	Niet in model meegenomen	Wel in model meenemen	Falen onder normcondities	Zijn de havendammen ontworpen volgens de toe te passen norm, danwel een strengere norm?
Klimaatscenario	Middenscenario + ZSS voor 5 of 6 jaar	KNMI2001, G+ met zss voor 50 jr na oplevering	KNM2001I, W+ met zss voor 100 jr na oplevering	Veranderingen tov KNMI2014

## Meetgegevens voor operationele conditie

Voor de beschikbare meetgegevens voor operationele condities geldt iets vergelijkbaars als voor de HR/CR dataset. Meetdata zijn altijd een weergave van de situatie op het moment van de metingen. Nu moet bepaald worden waar naar verwachting de gemeten situatie kan verschillen van de situatie volgens het ontwerpscenario. Voor meetdata geldt nog meer dan voor de HR: deze moet worden doorvertaald naar de condities aan de teen van de dam of dijk.

*N.B. Het heeft de voorkeur om aan te sluiten bij de berekeningen die al zijn uitgevoerd!*

## Keuze meetdata

De aannames van HR-dataset of meetdata enerzijds en het ontwerpscenario anderzijds liggen nu naast elkaar. Bepaal als eerste de terugkeertijd van de operationele conditie. Zit deze in de dataset die ten grondslag ligt aan de HR/CR?

Hierna is het moment om de uit de data set van de HR/CR de juiste terugkeertijd te kiezen, danwel met deze terugkeertijd de meetdata te kiezen die voor het doorrekenen van het ontwerpscenario geschikt zijn als hydraulische randvoorwaarden.

*N.B. Het heeft de voorkeur om verder niet zelf te rekenen, maar om te putten uit de info die er is: voor de HR is een hele set aan berekeningen uitgevoerd waarbinnen ook de ontwerpcondities zullen vallen.*

Vooraleer met een geschikt model X op  $T_0$  vertaald wordt naar Y op  $T_1$  (zie Figuur 7.1), wordt ook bepaald of en op welke manier meetdata of HR-dataset moeten worden aangepast.

### **Stap b. Bepalen welke fysische verschijnselen meespelen**

Er wordt bepaald welke hydraulische processen een rol spelen bij de vertaling naar de kering. Hierbij dient ook aandacht besteed te worden aan de invloed van de kering zelf of kunstwerk in de omgeving van de kering op het watersysteem, zoals bijv. de Oosterscheldekering of de Maeslantkering. Op basis van de verwachte (dominante) fysische processen kunnen de juiste modellen worden gekozen. Hierbij kunnen de meetdata gebruikt worden om inzicht te verkrijgen, danwel vermoedens te bekrachtigen of te verwerpen. Deze verwachting dient te zijn gebaseerd op ervaring, metingen en beschikbare literatuur/rapporten.

### **Stap c. Keuze geschikt model**

Modellen kunnen worden gebruikt voor het maken van de ontwerprandvoorwaardeberekeningen, maar ook kunnen modellen worden toegepast voor verificatie van aannames over invloed van veranderingen in de uitgangspunten, andere checks en voor principe berekeningen.

*N.B. Het heeft de voorkeur om aan te sluiten bij de berekeningen en algemeen beschikbare studies die al zijn uitgevoerd!*

In principe is de ontwerper vrij een model te kiezen, want de leidraden, noch het OI2014 (Deltares, augustus 2014)) schrijven geen model voor. Toch is het raadzaam algemeen geaccepteerde en algemeen beschikbare modellen te gebruiken die de verschijnselen uit stap b goed modelleren. Dit onder meer in verband met de reproduceerbaarheid. De modellen<sup>8</sup> (schematisatie, randvoorwaarden en software) voor het afleiden van de HR-dataset kunnen mogelijk worden gebruikt.

In deze paragraaf wordt:

- een aantal verschillende mogelijke modellen voor de bepaling van golfparameters beschreven;
- kort ingegaan op beschikbare modellen voor de bepaling van waterstand en stroming.

#### **Modellen voor (korte) golven**

*Voor een juiste vertaling van de golfgegevens van X naar Y (zie Figuur 7.1) wordt gebruik gemaakt van een golfvoortplantingsmodel. Golfvoortplantingsmodellen die kunnen worden gebruikt, zijn in Tabel 11.4 in volgorde van toenemende complexiteit opgenomen. De spreadsheet betreft de spreadsheet "Golven in havens", genoemd in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) [15]. In Tabel 11.3 is aangegeven welke processen in welk model worden meegenomen. Voor dissipatie wordt onderscheid gemaakt in dissipatie door bodemwrijving (bw) en dissipatie door breking (br).*

Stap 6 > Stap 6.2

<sup>8</sup> Meestal zal er inmiddels een update van de (HR) modellen beschikbaar zijn. In dat geval zal moeten worden afgewogen of er nieuwe inzichten zijn die voor het ontwerp moeten worden meegenomen

Tabel 11.3 Kenmerken golfvoortplantingsmodellen

Processen	Lokale windgroei	DiffRACTIE	Refractie	Reflectie	Transmissie	Dissipatie
Brettschneider	Ja	Nee	Nee	nee	Nee	-
Spreadsheet golven in havens	Ja	ja* <sup>1</sup>	Nee	nee	Ja	br voorland
SWAN	Ja	ja/nee* <sup>2</sup>	Ja	ja* <sup>4</sup>	Ja	bw en br +...
Pharos	Nee	Ja	Ja	ja* <sup>3</sup>		bw en br
Triton/SWASH	Nee	Ja	Ja	ja	Nee	bw en br

\*1) mits geen meervoudige diffractie

\*2) werkt niet altijd naar behoren

\*3) mits eerst een SWAN-som is gemaakt t.b.v. afschatting van golfrichting en reflectiecoëfficiënt

\*4) afhankelijk van type reflectie

NB1: HISWA is een voorloper van SWAN en wordt uitgefaseerd. Het SWAN model is namelijk in de praktijk al beter gebleken (zie (Gautier & Nieuwkoop, Quickscan Modelonzekerheden Golfbelasting Markermeer, 28 april 2015) en (Gao, 3 mei 2004)). Bovendien is HISWA niet meer eenvoudig te verkrijgen.

NB2: met Brettschneider kan eenvoudig van het uitvoerpunt naar de teen van de dam of dijk worden gerekend.

NB3: met de spreadsheet golven in havens kan eenvoudig van een uitvoerpunt een haven in worden gerekend.

Op basis van de dominante processen kan een geschikt model gekozen worden. De toepassingsgebieden van de modellen zijn in Tabel 11.4 opgenomen.

### Let op!

Steile bodemhellingen geven voor alle modellen problemen. Meer informatie over de kenmerken van de verschillende golfvoortplantingsmodellen is te vinden in *Golfrandvoorwaarden in havens van Reijmerink* [16].

Tabel 11.4 Toepassingsgebieden Golfvoortplantingsmodellen

Kenmerken	Toepassingsgebieden	Beschikbaar
Brettschneider	Smalle wateren	Formule in div. lit.
Spreadsheet	Havens (toetsen VTV)	helpdesk Water
Swan	Brede en smalle, open wateren, minder afgeschermd havens	<a href="http://www.swan.tudelft.nl">www.swan.tudelft.nl</a>
Pharos	(Kleine) havens, afgeschermd	Deltares
SWASH	Kleine gebieden (rekenintensief), geen windgroei!	TU Delft
Triton	Kleine gebieden (rekenintensief), geen windgroei!	Deltares

Het is gebruikelijk een combinatie van golfmodellen te gebruiken voor de vertaling van data naar de systeemgrens. Het modelgebied wordt dan in delen opgeknipt. Afhankelijk van de dominante processen per deelgebied wordt het juiste model ingezet. Deze strategie is bijvoorbeeld voor IJmuiden toegepast.

Ook voor PBZ was het de vaste werkwijze om van het meest geschikte uitvoerpunt voor een haveningang, zoals gedefinieerd was in SWAN, met de spreadsheet verder te rekenen. Deze

spreadsheet is in opdracht van PBZ ontwikkeld, en is nu onderdeel van het vast toetsinstrumentarium.

#### **Modellen voor waterstanden en stroming**

- *Delft3D/ WAQUA/SOBEK/IMPLIC*

*Deze modellen kunnen worden gebruikt voor de modellering van de waterbeweging. WAQUA wordt in de HR gebruikt voor o.a. het bovenrivierengebied. Voor het benedenrivierengebied wordt voor de HR gebruik gemaakt van SOBEK.*

*Inmiddels is ook WAQUA NDB voor het Noordelijk Delta Bekken beschikbaar, maar dit geeft langere rekentijden dan SOBEK. IMPLIC is sterk verouderd, maar is nog onderdeel van de vigerende randvoorwaarden voor de Oosterschelde.*

- *3Di:*

*Dit is een veelbelovende (model) ontwikkeling van een nieuw rekenhart voor een integraal watermodel. Deze ontwikkeling moet nog gevalideerd worden. De eerste vergelijkingen met SOBEK voor een case in Singapore d.d.ca. 2014 waren veelbelovend. Het 3Di model is snel, en e steek visueel.*

In deze modellen worden de resultaten mede bepaald door de fysische processen, die in het model kunnen worden meegenomen. De modellering van de precieze hydraulica moet, evenals andere invloeden in de uitwerking van het ontwerp worden vastgelegd zodanig dat het resultaat reproduceerbaar is.

Uiteraard is de keuze van het juiste model ook afhankelijk van de fase, waarin het ontwerpproces zich bevindt en wat de ontwerper tot zijn/ haar beschikking heeft.

Advies aan Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving) kan worden gevraagd over het te hanteren model voor de bepaling van de hydraulische ontwerpvoorwaarden.

#### **Stap d. Berekeningen maken**

##### *Opzet model*

Met de keuze voor een juist model(berekening), de juiste data als hydraulische randvoorwaarden en de uitgangspunten van het ontwerpscenario kan het model worden opgezet. Ook kunnen nieuwe berekeningen worden uitgevoerd, waarmee de hydraulische ontwerpvoorwaarden op de juiste locatie bepaald worden. Zorgvuldige keuze van de gewenste uitvoerlocaties en gewenste uitvoergegevens zijn hierbij belangrijk. Praktisch gezien: uitvoerpunten in het model kosten geen rekentijd. Het is dus beter om er aantal meer te definiëren dan om er later achter te komen dat het uitvoerpunt niet ideaal was en alle berekeningen overnieuw moeten worden uitgevoerd.

Deze keuze dient binnen de mogelijkheden van het gekozen rekenmodel in aansluiting op de gedefinieerde systeemgrens te gebeuren. Nesten van het model naar de locatie van interesse is daarbij een mogelijkheid, bijvoorbeeld als er uitgegaan wordt van de basisset van HR/CR. Hierbij kunnen randvoorwaarden en aansturingsgrootheden grotendeels worden overgenomen uit de HR/CR set. Dit zorgt voor zoveel mogelijk consistentie en bespaart tijd. Alleen bij duidelijk uitgefaseerde modellen als HISWA (nu nog geldig op het Markermeer) wordt deze werkwijze niet aangeraden.



Met de aangepaste data en het juiste modelinstrumentarium kunnen de waarden voor de verschillende parameters (uit de Tabellen 5.8-5.10) worden bepaald. Het geschetste proces in Paragraaf 7.2 bevat wel onzekerheden. Om tot een robuust ontwerp te komen moeten deze op enig moment in het ontwerp worden meegewogen.

#### *Onderbouwing onzekerheden*

Het totaal van toeslagen heeft grote invloed op het uiteindelijk ontwerp van de kering. Om die reden is een vaste werkwijze voor de onderbouwing van de toeslag van belang. Zo wordt voorkomen dat toeslagen op toeslagen gestapeld worden, hetgeen kan leiden tot overdimensionering van het ontwerp. In het kader van de WTI2017 wordt veel onderzoek gedaan naar onzekerheden in verschillende watersystemen. De laatste stand van zaken is steeds opgenomen in het Ontwerp Instrumentarium dat jaarlijks wordt bijgewerkt tot aan 2017, wanneer er een op de WTI2017 aansluitend instrumentarium zal zijn. Dit OI en ook de laatste stand van zaken in het kader van het WTI2017 is op te vragen bij de HelpdeskWater.nl.

#### *Verdiscontering onzekerheden*

De onzekerheden kunnen op verschillende manieren in het proces zijn verdisconteerd. Onzekerheden kunnen bijvoorbeeld meegenomen worden in de data van de hydraulische randvoorwaarden of in de nabewerking van modelresultaten. Ook de keuze voor een ontwerpscenario impliceert het meenemen van een bepaalde onzekerheid in de toekomstige ontwikkeling. De ontwerper moet zich bewust zijn om welke onzekerheden dit gaat (zie hoofdstuk 6) en voorkomen dat bijvoorbeeld modelonzekerheden die al zijn gecorrigeerd in de HR/CR database, nog een keer worden toegepast in enige toeslag.

Een overzicht met wat wel of niet is meegenomen in de HR, versus de af te leiden Ontwerprandvoorwaarden kan omvatten:

- Verschillen in bodem
- Verschillen in windaansturing, sectoren, etc
- Verschillen in stroming
- Verschillen in waterstand, inclusief ZSS en/of afvoertoename
- Verschillen met medeneming van alle bovenstaande items voor golven.

#### *Fase project*

De keuze voor de wijze waarop de set van ontwerprandvoorwaarden wordt bepaald en onzekerheden worden meegenomen, is afhankelijk van de fase waarin het project zich bevindt. Er wordt onderscheid gemaakt in:

1. Semi - probabilistische ontwerprandvoorwaarden
2. Probabilistische ontwerprandvoorwaarden

De onzekerheden zijn voor beide ontwerprandvoorwaarden dezelfde. Ze zijn per HR/CRdataset echter op een andere manier in de (model)berekeningen verdisconteerd.

De achtergronden en methoden zijn beschreven in Appendices 13C en 13D; de onzekerheden worden in dit hoofdstuk uitgewerkt.

### 11.6.1 Definitie van toeslagen

In de huidige praktijk van het opstellen van hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor dammen en dijken, maar ook voor kunstwerken wordt de term "toeslagen" gebruikt voor alle onzekerheden.

Voor de eenduidigheid wordt in dit handboek onderscheid gemaakt in:

- ontwerpopslagen: deze nemen fysische processen mee die in de hydraulische randvoorwaarden of de modellering niet zijn meegenomen;
- robuustheidstoeslagen voor onzekerheidsbronnen: deze kunnen in de planperiode worden toegekend, maar kunnen ook in kansverdelingsfuncties van bepaalde

ontwerprandvoorwaarden worden meegenomen (de laatste inzichten uit WTl2017 zijn op te vragen via de Helpdesk Water).

### Onzekerheidsbronnen

Er worden vier onzekerheidsbronnen onderkend:

1. **Modelonzekerheden** betreffen de verschillen (variaties) tussen modelresultaten en metingen in de planperiode. Het is een eigenschap van het gebruikte model. N.B. Hiervoor is vaak al gecorrigeerd in de HR.
2. **Beleidsonzekerheden** betreffen onzekerheden in de beleidsuitgangspunten van het ontwerpscenario, zoals gedefinieerd in stap 6.2.1e, beleidsontwikkelingen.
3. **Onzekerheden in statistiek** zijn vooral relevant voor de extreme en normcondities en vangen de onzekerheid in geëxtrapoleerde data (buiten meetbereik) op. Per 2017 zal hierover meer bekend zijn in het kader van WTl2017.
4. **Inherente onzekerheden** zijn hier gedefinieerd als de onzekerheden als gevolg van de natuurlijke variatie in waterstanden, stormduur, golfhoogtes etc. in operationele condities (variaties in metingen binnen meetbereik). Deze zijn van invloed bij modelverificatie, -validatie en -kalibratie.

Tabel 11.6 Onzekerheidsbronnen en (ontwerp)opslagen

Stap 6 > Stap 6.2

Onzekerheidsbronnen ontwerp	Modelonzekerheden	Onzekerheid waterstanden	In model
		Onzekerheid golfcondities	In model
	Beleidsonzekerheden	Klimaatscenario's	KNMI
		Ruimtelijke ontwikkelingen	Wel of niet in schematisatie, valideer en calibreer
		Andere beleidskeuzes	Op gelegd als uitgangspunt
	Onzekerheden in statistiek	Onzekerheden in extremen	Onderzocht in WTl2017; opvraagbaar bij Helpdesk Water
	Bijv. aannames methode De Haan in Hydra-K		
	Inherente onzekerheden	Natuurlijke variatie	In metingen
(Ontwerp) opslag	Fysische processen	Scheepsgolven	Apart af te schatten
	(indien niet in model meegenomen)	Seiches, buistoten, oscillaties	Apart af te schatten
		Opwaaiing Translatiegolven	Apart af te schatten

Met deze onderverdeling in onzekerheidsbronnen en opslagen kunnen de benodigde toeslagen voor norm- en operationele condities bepaald worden.

## 11.6.2 Hoogte van de (robuustheids) toeslagen

De wijze waarop een onzekerheid wordt verdisconteerd, hangt af van de keuze of semi-probabilistisch of probabilistisch wordt gerekend. In de semi-probabilistische methoden wordt een toeslag voor verschillende onzekerheden toegekend. In de probabilistische methoden wordt de onzekerheid veelal in de berekeningen meegenomen, maar ook hier is het mogelijk dat er nog een toeslag wordt toegekend. Vooralsnog zal ook in 2017 na oplevering van het WTI2017 er niet volledig probabilistisch worden gerekend!

Op dit moment wordt veelal semi-probabilistisch gerekend, maar voor de toekomst staat Rijkswaterstaat de probabilistische veiligheidsfilosofie voor (nHWBP bijvoorbeeld). (Meer informatie over de onzekerheden in de hydra-modellen is te vinden in (Beckers J.; Geerse C.; Kramer N.; Nicolai R.; Wojciechowska K., maart 2009)).

Voor ontwerpen worden de laatste inzichten in toeslagen verdisconeerd in het OntwerpInstrumentarium dat jaarlijks wordt geupdate. De laatste stand van zaken is op te vragen bij de Helpdesk Water.

N.B. Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving) heeft een bibliotheek van casussen opgebouwd voor kunstwerken. Deze is gebaseerd op vragen over de juiste hoogte van de (robuustheids-) toeslagen, die de afgelopen jaren zijn gesteld. De casussen vormen een consistent geheel.

Het dient de aanbeveling om voor ontwerpen in het nHWBP dit voorbeelde te volgen voor dammen en dijken.



### **Let op!**

*Deze lijn voor het bepalen van toeslagen is niet opgezet voor de operationele condities. De toeslagen voor operationele condities moeten in overleg met RWS-WVL worden vastgesteld.*

**Lijn in adviezen Rijkswaterstaat (WVL)**

Bij het ontwerp van keringen wordt een robuustheidstoeslag op dit moment alleen toegekend voor **modelonzekerheden**. Dat blijkt uit de Leidraden en adviezen van Rijkswaterstaat (WVL).

Voor **beleidsonzekerheden** wordt geen robuustheidstoeslag toegekend. Het is immers onmogelijk een waarde voor een toeslag te bepalen voor een voorgenomen, niet uitgewerkte aanpassing van beleid. Dit wijkt af van hetgeen is gesteld in het Addendum Zee- en Meerdijken..

In de praktijk van het ontwerp van keringen wordt veelal toch op één of andere manier rekening gehouden met voorgenomen (nog niet vaststaande) ruimtelijke ontwikkelingen. Denk hierbij aan de verandering van de norm door een andere toetssystematiek of verruiming van een rivier. De (gewenste) aanpasbaarheid van de keringen (aan deze ontwikkelingen) kan worden gevonden in mogelijke uitbreidbaarheid van de kering. Deze kan ook invloed hebben op de gekozen hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Het advies is om te anticiperen op de toekomst waar het gaat om beleidsmaatregelen.

Het is raadzaam om in een vroeg stadium in overleg te treden met Rijkswaterstaat (WVL) over een mogelijke toeslag voor onzekerheidsbronnen.

**Onzekerheden in statistiek** zijn tot op heden niet in de HR meegenomen, en konden niet worden meegenomen, ook al werd dit gesuggereerd in bijv het Addendum Zee- en meerdijken. Op dit moment wordt binnen WTI2017 gewerkt aan het meenemen van statistische onzekerheden bij de bepaling van de HR.

Voor **inherente onzekerheden** wordt geen robuustheidstoeslag toegekend. Uitgangspunt is dat de waarden voor de parameters in de dagelijkse condities 'veilig' gekozen zijn.

Rijkswaterstaat (WVL) stelt dat het toekennen van (robuustheids)toeslagen niet alleen een inhoudelijke, maar ook een beleidsmatige keuze is. Voor de hoogte van de robuustheidstoeslag voor modelonzekerheden (voor normcondities) geeft Rijkswaterstaat (WVL) handvatten. Zie Tabel 11.5. De informatie uit de tabel komt uit de OI2014 (Deltares, augustus 2014). In de kolom referentie staat waar de informatie (van oorsprong) vandaan komt.

*N.B. Hierbij moet lering worden getrokken uit de doorwerking in de faalmechanismen als benoemd in paragraaf 7.4*

Tabel 11.5 Robuustheidstoeslagen voor modelonzekerheden

Watersysteem	Parameter	Robuustheids-Toeslag	Referentie
Rivieren	Waterstand	+ 30cm <sup>29</sup>	Leidraad Rivieren 2008 & OI2014
	H <sub>m0</sub>	Geen	
	T <sub>m-1,0</sub>	Geen	
Meren	Waterstand	+ 40cm	OI2014 (Waterdienst). Bevestigd door ENW in brief 19 januari 2009 (brief van ENW-
	H <sub>m0</sub>	+ 10%	
	T <sub>m-1,0</sub>	+ 10%	

<sup>29</sup>De onzekerheid is 0,2 tot 0,3 m! Niet toepassen in combinatie met ringbenadering

			kerngroep aan DGWR)
Waddenzee en Kust	Waterstand	+ 40cm	OI2014
	$H_{m0}$	+ 10%	ENW brief Ameland, 2007 en brief Bijlsma aug 2010 (Waterdienst)
	$T_{m-1,0}$	+ 10%	

### Let op!

In Tabel 11.5 staan adviezen voor de te hanteren toeslagen. Als (met geavanceerde modellen) kan worden aangetoond dat een afwijkende toeslag passend is, dan mag ervan afgeweken worden.

#### N.B.1 Haal dubbelingen er uit

Pas niet zondermeer robuustheidstoeslag op de  $H_s$  en  $T$  toe als er al een modelcorrectie is gedaan in de database van de HR. Haal deze correctie van de bedragen in Tabel 11.5 af, en corrigeer dan voor onzekerheden met het restant.

Bovendien: de ene periodemaat is de andere niet! Zie Bijlage 13I voor definities, en toepassingen in faalmechanismeformuleringen van de verschillende periodematen.

#### N.B.2 Hoe werken de aanpassingen in de parameters in de faalmechanismen door?

Voer uit per faalmechanisme:

- Neem de meest belastende situatie(s)
- Pas de eventuele toeslagen toe.
- Toets deze op fysische bestaansmogelijkheid. Let op de golfsteilheid.
- Kies de meest belastende en fysisch mogelijke situatie waarbij de toeslag of correctie wordt toegepast met beleid zoals geïllustreerd in paragraaf 7.3 en paragraaf 7.4.

*N.B. Hierbij moet lering worden getrokken uit de doorwerking in de faalmechanismen als benoemd in paragraaf 7.4*

### 11.6.3 Hoogte van de fysische opslagen

De opslagen voor fysische processen zijn opslagen voor fysische processen die in het model of HR-dataset niet zijn meegenomen en voor het ontwerp wel van belang zijn.

Hierbij wordt gedacht aan waarden voor bijvoorbeeld:

- Seiches, buistoten en oscillaties
- Scheepsgolven
- Translatiegolven
- Opwaaiing (let op: veelal al meegenomen in waterstandsmodel)

De waarden van deze opslagen kan worden bepaald met behulp van de leidraden, technische rapporten, Ontwerp van Schutsluizen [1], de Shore Protection Manual [7], etc. De technische rapporten zijn gericht op de normcondities. Voor de operationele condities kan met lagere opslagen worden volstaan. Zie ook Bijlage 13G.

## 12 Rapportage hydraulische ontwerprandvoorwaarden- Stap 7

Het vastleggen van de bevindingen voor en achtergronden van de acht stappen van het stappenplan is essentieel om de gewenste herleidbaarheid en reproduceerbaarheid van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden te realiseren. De rapportage van stap 1 tot en met stap 6 bevat de onderbouwing van alle keuzes die leiden tot de sets van ontwerprandvoorwaarden voor een dam of dijk. Stap 7 speelt dus een belangrijke rol in het herleidbaar en transparant maken van de verschillende stappen, en vergroot daarmee de overdraagbaarheid. Dit is op zich vaak geen Lange Termijndoel, maar dat dit noodzakelijk is, is gebleken in de praktijk van PBZ. Hier werd in de loop der tijd een aantal keren teruggekomen op een ontwerp, in verband met nieuwe inzichten of vragen van de beheerder.

Een uitgewerkt voorbeeld staat in Bijlage H.

### 12.1 Aanvullingen bij het voorbeeld uit Bijlage H

Het voorbeeld uit Bijlage H komt uit de praktijk van PBZ. Hierbij is de werkwijze volledig vastgelegd in het 'kookboek' (Svašek Hydraulics / Royal Haskonning, 23 februari 2011). Echter sinds het uitbrengen van dit kookboek zijn er een aantal nieuwe ontwikkelingen als eerder genoemd in de ontwerpmethodiek gaande. Daarom moeten er een aantal zaken aanvullend op het voorbeeld worden vastgelegd. Deze worden hieronder benoemd.

#### *Uitgangpunten*

In de Leidraden danwel het OI2014 zijn verschillende uitgangspunten genoemd. Deze zijn die hieronder opgesomd.

- kans op overschrijding van het overslagdebiet horend bij de norm.
  - Dit is  $q = 0,1$  l/s/m voor de oude overschrijdingsnorm
  - Dit is  $q = 5$  tot  $10$  l/s/m voor de overstromingsnorm!
- Kans op falen op hoogte
  - Voor de oude systematiek: bij MHW danwel MHBN  $< 10\%$
  - Voor de nieuwe systematiek is dit  $24\%$  van de kansruimte (ook voor de andere faalmechanismen is een vast percentage vastgesteld die dit faalmechanisme mag innemen in de totale kansruimte (zie (Deltares, augustus 2014).) Deze aanpak is probabilistisch voor hoogte en semiprobabilistisch voor de andere faalmechanismen. Het totaal wordt de faalkansbegroting genoemd.)
- Maximale helling is 1 op 3 aan de buitenzijde
- minimale breedte kruin = 3 meter,

#### *Te gebruiken randvoorwaarden*

Het uitgangspunt voor randvoorwaarden moet worden vastgelegd. Dit zijn de vigerende Randvoorwaarden of recenter! Voor WTI wordt er regelmatig geupdate en dit is daardoor een belangrijke bron van informatie. Meer informatie is op te vragen via de Helpdesk water.

#### *Alle faalmechanismen!*

Hoogte is het meest bepalend. Dit faalmechanisme heeft dan ook, samen met piping, de hoogste bijdrage in de faalkansruimte ( volgens het OI2014 is dit  $24\%$ ).

### 12.2 Stap 7b Eindcontrole

Als alle gegevens verzameld zijn de berekeningen gemaakt en alle zaken zzijn opgeschreven en gedocumenteerd, is het tijd de eindcontrole. Hierbij moeten de adviezen gecontroleerd worden

op:

- aansluiting op de naastliggende vakken,
- of de golftrandvoorwaarden inderdaad fysisch correct leken,
- of een niet logisch verloop in HS en/of Tp verklaard kon worden door draaiende windrichting,
- invloed van zandbanken e.d.

In de praktijk van PBZ heeft deze eindcontrole regelmatig foutjes uit de adviezen gehaald, danwel geleid tot het beschrijven van een plausibele verklaring die meestal als noot/opmerking is opgenomen in het ontwerpdocument.

## 12.3 Oplevering en akkoordering

### - Stap 8

Hierna kan de rapportage worden opgeleverd ter akkoordering door de opdrachtgever en/of de kwaliteitsborger(s). Het is van belang dat ook de punten die hierna volgen om aan te passen, daadwerkelijk worden verwerkt en gedocumenteerd in een geupdate advies voor de ontwerprandvoorwaarden.

#### **Structuur**

Dit handboek stelt een structuur voor. De praktijk moet uitwijzen, waar deze structuur aangepast en verbeterd kan worden. Dat betekent dat dit handboek een levend document is. Het is noodzakelijk om bij Rijkswaterstaat een "bibliotheek" te vullen met concrete projecten, waarbij dit handboek is gebruikt om de hydraulische ontwerprandvoorwaarden op te stellen. Op die manier kan het stappenplan aan de praktijk worden gevalideerd en kan het handboek op basis van praktijkbevindingen worden verbeterd.

## 13 Aanbevelingen

Zoals gezegd in hoofdstuk 12 moet de praktijk uitwijzen, waar deze structuur aangepast en verbeterd kan worden. Dat betekent dat dit handboek een levend document is. De ontwerper wordt door de auteur verzocht, als na gebruik blijkt dat dit document verbetering behoeft, dit te melden bij de auteur en de organisatie die dit document heeft verstrekt. Op deze wijze kunnen aanbevelingen uit de praktijk deze handleiding verbeteren.

Voor de coördinatoren van de adviezen zoals die van het nHWBP zijn er nog een aantal aanbevelingen en suggesties zoals die ook op een aantal plaatsen in dit handboek al wel zijn aangestipt, zoals hoofdstuk 12. Deze betreffen beschikbaarheid en organisatie van de op te leveren ontwerpadviezen te doen. Deze zijn op te vragen bij de auteur. Deze zijn hier niet nog een keer opgenomen omdat deze niet het werk van de ontwerper betreffen.





## Referenties

- Beckers J.; Geerse C.; Kramer N.; Nicolai R.; Wojciechowska K. (maart 2009). *Uncertainties of the Hydra models: SBW Belastingen*. Deltares-report H5098.20: Deltares-HKV.
- Bieman, J. d., & Kieftenburg, A. (2015). *Handreiking voor het afleiden van ontwerpwaterstanden en golfcondities, t.b.v. het ontwerp van dammen, zee- en meerdijken*. Deltaresdocument 1209832-004-HYE-0001: Deltares.
- Bruijn, H. d. (2004). *Kadeverschuiving Wilnis: onderzoek naar de oorzaak van de kadeverschuiving*. GeoDelftrapport: GeoDelft.
- Chbab, H. (Augustus 2012). *Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor de Benedenrivieren*. Deltares-rapport 1204143-003-ZWS-0030: Deltares.
- Chbab, H. (juli 2012). *Achtergrondrapportage hydraulische belastingen voor de Vechtdelta*. Deltares-rapport 1204143-003-ZWS-0025: Deltares.
- Deltares. (augustus 2014). *Werkwijze bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden: ten behoeve van nHWBP 2014 projecten*. Deltares-rapport 1208992-000-HYE-0008: Deltares.
- Gao, Q. (3 mei 2004). *Golfmodellen HISWA en SWAN in het IJsselmeergebied*. RIZA werkdocument: 2004.107X: RWS-RIZA.
- Gautier, C., & Groeneweg, J. (maart 2012). *Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor zee en estuaria*. Deltares-rapport 1204143-002-HYE-0037, versie 2: Deltares.
- Gautier, C., & Nieuwkoop, J. v. (28 april 2015). *Quicksan Modelonzekerheden Golfbelasting Markermeer*. Deltares-rapport 1220082-007-HYE-0002: Deltares.
- Geerse, C. (december 2003). *Probabilistisch model Hydraulische Randvoorwaarden Benedenrivierengebied*. RIZA-werkdocument 2003.128x: RWS-RIZA.
- Groot-Wallast, I. d. (oktober 2013). *Hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor schutsluizen : technisch handboek (versie 2)*. Deltares-rapport 1207836-000-GEO-0001: Deltares.
- Heijer, F. d. (12 februari 1996). *Globale indicatie van het waterstandsverloop onder maatgevende omstandigheden*. W-DWW-96-014: DWW.
- Hoogwaterbeschermingsprogramma. (2015). <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Documenten+openbaar/Kennis+en+Innovatie/357871.aspx?t=Nieuwe+normering+en+ontwerpen+in+HWBP-projecten>.
- Hordijk, D. (21 maart 2007). *Prognose schor en slik ontwikkelingen Oosterschelde: Een onderzoek ten behoeve van de versterking van steenbekledingen langs de Oosterschelde*. RIKZ-rapport RIKZ/KW/2007.103w: RWS-RIKZ.
- Hordijk, D. (februari 2003). *Rapportage Veldmetingen Pettemer Zeewering Stormseizoen 2001-2002*. RWS-RIKZ-rapport RIKZ/OS/2003.101X: RWS-RIKZ.
- Jacobse, S., Scholl, O., & Koppel, J. v. (8 november 2008). *Prognose van Schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde: Een analyse naar de te verwachten ontwikkelingen tot 2060*. RoyalHaskoning-rapport 9T4814.B0: RoyalHaskoning-NIOO.
- Jong, M. d. (2004). *Origin and prediction of seiches in Rotterdam harbour basins*. ISBN 90-9017925-9: Technische Universiteit Delft.
- Jongejan, R. (2014). *Rekenen aan overstromingskansen*. Lezing bij PAO-cursus: Waterveiligheid 2.0.
- Kieftenburg, A., & Taal, M. (19 maart 2014). *Activiteitenplan 2014 Westerschelde-Veiligheidsinstrumentarium: Ondersteuning Deltaprogramma ZuidWestelijke Delta*. Deltares-concept rapport 209394-000-ZKS-0010: Deltares.
- Klein Breteler, M. (2012). *Documentatie Steentoets 2008 en 2010*. Deltares rapport 1204727-009: Deltares.

- Klein Breteler, M. (21 oktober 2009). *Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities*. Deltares-rapport 1200193: Deltares.
- KNMI. (2014). *KNMI'14, Klimaatscenarios's voor Nederland*. Opgehaald van [www.klimaat-scenarios.nl/images/Brochure\\_KNMI14\\_NL.pdf](http://www.klimaat-scenarios.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf).
- Kwaad, F. (2005, januari 20). *Correctie van NAP-hoogten m.i.v. januari 2005*. Opgeroepen op 2015, van <http://www.kwaad.net/NAP-niveau.htm>.
- Luijendijk, S., & Hijma, M. (12 november 2014). *Ondergrondmodel Eemshaven - Delfzijl met aangepaste schematisatie*. Deltares, interne notitie: Deltares.
- Meurs, G. v., & Kieftenburg, A. (december 2014). *Dubbele dijken, een verkenning voor Eemshaven-Delfzijl: Beoordeling toetsbaarheid*. Deltares-rapport 1209152-003-ZKS-0001: Deltares.
- Mheen, M. v., & Groot-Wallast, I. d. (december 2013). *Hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor stuwen*. Deltares-rapport 1207836\_002: Deltares.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Leidraad Rivieren*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Technisch Rapport OntwerpBelastingen voor het rivierengebied*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (25 maart 2009). *Addendum I bij de Leidraad Zee- en Meerdijken t.b.v. het ontwerpen van meerdijken*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (augustus 2007). *Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen - voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006)*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- MX.Systems. (16 juli 2004). *Ontwerpdokument KustDB2006, Database met Controle-tool, ten behoeve van RWS-RIKZ*.
- ProjectBureau Zeeweringen (PBZ). (1997-2015). *Veldmetingen Zeeland*.
- ProjectBureau Zeeweringen (PBZ). (2014, Januari). *Zeeweringenwiki.nl*. Opgehaald van [kies Hydraulische Belastingen](http://www.kieshydraulischebelastingen.nl).
- Rechtspraak.nl. (2012, april 17). <http://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:GHSGR:2012:BW1497&key=word=wilnis>.
- Rego, J. (26 maart 2010). *Hydrodynamic production runs with Kuststrook model: 360 surge scenarios*. 1200103-024-HYE-0002: Deltares.
- Reijmerink, S., & Jong, M. d. (16 december 2014). *Actualisatie seiches Rotterdam WTI2017-Waterstandsafhankelijke seiche-waarden*. Deltares-rapport 1209433-006-HYE-0002: Deltares.
- RWS. (1995-2007). *Petten meetsite*.
- RWS. (2015, 25 september). *Astronomisch getij*. Opgehaald van <http://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/astronomisch-getij.aspx>.
- RWS. (2017, 25 september). *WTI2017 in ontwikkeling*. Opgehaald van <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/toetsen/wti2017-ontwikkeling/>.
- RWS-CIV. (2015, augustus). *Vaarwegen in Nederland (editie augustus 2015)*. Opgehaald van [www.vaarweginformatie.nl/fdd/main/download?fileId=1942534](http://www.vaarweginformatie.nl/fdd/main/download?fileId=1942534).
- RWS-RIKZ. (november 2008). *Achtergrondrapport HR 2006 voor de Zee en Estuaria: Hydraulische Randvoorwaarden 2006*. RWS-RIKZ rapport 2006.029; ISBN 9036914930: RWS-RIKZ.
- RWS-RIZA. (2007). *Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren: Thermometerrandvoorwaarden 2006*. RWS-RIZA rapport 2007.023; ISBN 978-90-369-1402-4: RWS-RIZA.
- SDU. (wordt jaarlijks uitgegeven). *Getijtafels voor Nederland*. sdu.nl: SDU-boek.

- Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD. (19 maart 2014). *Stormvloedrapport van 5 t/m 7 december 2013 (SR91): Sint Nicolaasvloed 2013*. RWS-Watermanagementcentrum Nederland (WMCN).
- Stormvloedwaarschuwingsdienst/SVSD. (november 2007). *Verslag van de stormvloed van 9 november 2007 (SR88)*. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig. (23 februari 2011). *Handleiding hydraulische detailadviezen, Oosterschelde en Westerschelde 2011, deel 1A, 1B, 2 en 3*. Svašek Hydraulics-rapport 1631/U11013/C/PvdR: Svašek Hydraulics.
- Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig. (februari 2010). *Kaartjes met dijkvakindeling Oosterschelde en Westerschelde*. RKZ1906.024: RWS-RIKZ. Opgehaald van <http://www.zeeweringenwiki.nl>.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (december 1999). *Leidraad Zee- en Meerdijken*. Delft.
- Tijssen, A. (26 november 2009a). *Herberekening werklijn Maas in het kader van WTI2011*. 1200103-044-ZWS-0007: Deltares.
- Tijssen, A. (26 november 2009b). *Herberekening werklijn Rijn in het kader van WTI2011*. Deltares-rapport 1200103-044-ZWS-0008: Deltares.
- Tijssen, A., & Diermanse, F. (30 augustus 2010). *Storm surge duration and storm duration at Hoek van Holland: SBW-Belastingen*. Deltares-report 1200264-001-HYE-0008: Deltares.
- Vlag, D. (16 december 2009). *Hydrologische trends IJsselmeer*. RWS-RDIJ.
- Vrouwenvelder, P. i., Steenbergen, I. H., & Diemanse, D. i. (december2003). *Belastingmodellen Westerschelde / Waddenzee Vergelijking Hydra-K en PC-Ring (inclusief resultaten aanvullende studie)*. TNO-rapport 2003-CI-R0032: TNO en WL.
- Waal, H. d., & Paverd, M. v. (22 maart 1999). *Randvoorwaarden voor het toetsen van bekledingen langs het IJsselmeer en Markermeer*. RWS-RIZA en RWS-DWW notitie: RWS-RIZA en RWS-DWW.
- Westphal, R., & Hartman, J. (25 maart 1999). *Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied*. RIZA rapport 99.037; ISBN 9036952611 : RWS-RIZA.
- Wieringa, J., & Rijkoort, P. (1983). *Windklimaat van Nederland*. KNMI-rapport ISBN 90 12 044669: Staatsdrukkerij, Den Haag.



## A Bijlage: Beknopte toelichting HR en HR-dataset

*Noot: jaar van schrijven is 2015*

Op het moment van schrijven van dit document is het HR2006 nog vigerend voor de toetsing en zijn er twee verschillende methoden die kunnen worden gebruikt voor het ontwerp: de officieel nog vigerende methode volgens de diverse Leidraden die zijn geakkoordeerd door het ENW en het OI2014, dat per jaar wordt geupdate. Tegelijkertijd wordt het WTI2017 voorbereid waarbij wordt overgestapt van een overschrijdingskansnorm naar een overstromingskansnorm.

Het OI2014 wordt opgelegd voor ontwerpprojecten die nu aanvangen in het kader van het nHWBP. Het volgen van het OI2014 heeft als voordeel dat het anticipeert op de WTI2017, waardoor de kans minder groot is dat een net opgeleverd ontwerp volgens de nieuwe toetsing niet meer voldoet. Het OI2014 haakt dus, waar mogelijk aan op de overstromingskansfilosofie. Deze laat zich niet direct vergelijken met de overschrijdingskansfilosofie, en op punten zoals het overslagdebiet waarmee wordt gerekend, zijn de aannamen wezenlijk anders.

Hieronder volgt een beschrijving van de HR, de HR-dataset en hoe deze in de oude en nieuwe methode toegepast worden.

Met het wettelijk toetsinstrumentarium zijn voor de primaire waterkeringen berekeningen uitgevoerd onder de zogenoemde wettelijk vigerende normcondities. De hieruit resulterende dataset van extremen wordt, na vaststelling door minister of staatssecretaris, aangeduid met de HR (Hydraulische Randvoorwaarden).

De HR zijn opgesteld voor de toetsing van de gehele primaire waterkering. Deze hydraulische randvoorwaarden (geldigheidsduur van minimaal 6 jaar) zijn bedoeld voor de toetsing van de primaire waterkering, maar kunnen met (ontwerp)leidraden en konden volgens de huidige vigerende methode vertaald naar de juiste hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Voor het OI2014 zijn de HR niet direct te toepasbaar, maar is wel de HR-dataset bruikbaar.

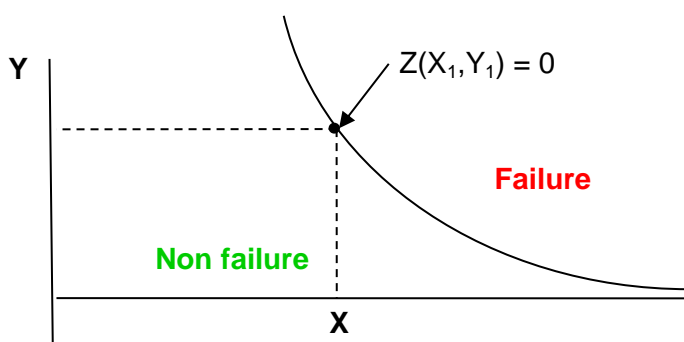
Voor alle primaire keringen zijn er HR beschikbaar. Deze zijn te vinden in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek ([8], digitaal beschikbaar via [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)). Afhankelijk van het watersysteem is hierin informatie te vinden van waterstanden en voor locaties, waar golven ook een rol spelen, ook voor golven, beide voor de wettelijke normconditie. Welke normconditie in welk gebied geldig is, is ook te vinden in dit HR-boek.

Feitelijk is er echter een hele dataset voorbereid en zijn ook voor gebieden waar geen golftrandvoorwaarden in het HR-boek staan golfgegevens uitgerekend en in meer of mindere mate toegankelijk. Met name als het oudere gegevens betreft is de toegankelijkheid minder goed, ivm de verouderde computersystemen waarop deze zijn afgeleid, maar ook omdat over een model als HISWA bijvoorbeeld niet meer alle achtergronden te vinden zijn. Voor het OI2014 zijn niet de HR maar is een dergelijke dataset noodzakelijk.

De beschikbare gegevens voor extremen maken altijd zoveel mogelijk gebruik van meetdata. Voor de HR-berekeningen zijn allereerst (probabilistisch) statistieken afgeleid van de aansturingsvariabelen. Deze worden geëxtrapoleerd naar de extremen die horen bij de wettelijke normcondities. Met modellen (WAQUA voor waterstanden, SWAN/HISWA/Brettschneider voor golven) worden deze extreme condities vertaald naar locaties bij de teen van de keringen. Daarna worden er probabilistische berekeningen (met de Hydra-modellen) op basis van de modelresultaten uitgevoerd in voor de kering liggende uitvoerpunten. Voor deze uitvoerpunten wordt het meest waarschijnlijke punt op de faalgrens bepaald conform de opgegeven norm.

Dit punt heet het illustratiepunt<sup>30</sup>, en kan bij de huidige vigerende methode voor de toetsing worden gebruikt. Dit getal is in feite het resultaat van een set van onderbouwde probabilistische berekeningen. Het illustratiepunt geeft de meest waarschijnlijke combinatie van waterstand en golfhoogte waarbij de constructie op de grens van falen/niet falen is, gegeven de normconditie. De HR bevatten voor elke uitvoerlocatie langs de primaire waterkering één waterstand en, indien golfgedomineerd, één golfhoogte en één golfperiode (en afhankelijk van de locatie soms een golfrichting). Elk faalmechanisme heeft overigens zijn eigen faalkromme met illustratiepunt.

Met Figuur D.1 is dit geïllustreerd voor een vereenvoudigde situatie<sup>31</sup>. X en Y staan voor verschillende stochasten. Hier kan bijvoorbeeld X de waterstand en Y de golfhoogte zijn. De kromme is de grens tussen wel en niet bezwijken van de kering. Het punt Z op de kromme ( $P_{\text{bezwijken}}(X,Y)=0$ ) is het punt op de kromme met de hoogste kans van voorkomen, het illustratiepunt.



Figuur A.1 Illustratiepunt

Het bepalen van het illustratiepunt gebeurt met het Hydra-instrumentarium. De Hydra-berekeningen zijn probabilistische modelberekeningen, waarin impliciet en/of expliciet aannames zijn opgenomen. Deze hebben bijvoorbeeld betrekking op:

- Wind, debieten, stroming
- Bodemdaling, bodemgegevens
- Obstakels zoals strekdammen.

Voor de HR is het aantal faalmechanismen dat wordt beschouwd niet altijd gelijk. Wel worden golfhoogte en -oploop en -overslag altijd beschouwd.

Voor de getallen in het HR-boek [8] werd uitgegaan van een zogenaamd 'standaard dijkprofiel'. Welke aannames er verder zijn gedaan is te vinden in de achtergrondrapportages bij de HR. Deze zijn ingedeeld naar watersysteem. Hierin is te vinden welke systematiek (modelmatig) er achter de HR-dataset zit, welke modellen er zijn toegepast.

Voor de geometrie van de bodem geldt voor de toetsing dat deze representatief moet zijn in de toetsperiode. Dat is in principe de 6 jaar na oplevering van de HR-getallen. Dat geldt voor de

<sup>30</sup>Het illustratiepunt wordt bepaald in de  $n$ -dimensionale ruimte, waarbij  $n$  het aantal beschouwde stochasten is

<sup>31</sup>De echte faalkrommes kunnen heel andere vormen hebben en kunnen ook samengesteld zijn. Meer hierover is te vinden in hoofdstuk 7.

gehele HR, maar de bodem is hierbij sterk bepalend voor de resulterende golfhoogte en waterstand.

Meer informatie over achtergronden en totstandkoming van de HR en de HR-dataset is te vinden in o.a het HR-boek (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, augustus 2007).





## B Bijlage: Eigenschappen van de HR

Op het moment van schrijven van dit handboek is de HR2006 nog de vigerende set van HR. Echter een groot deel van de berekeningen uit 2006 zijn overgenomen uit de HR2001. Deze getallen zijn dus bepaald met de modellen en de inzichten van vóór 2001! De keuzes die gemaakt zijn, de wijze van omgaan met de bodemgeometrie, met de modellen etc. zijn voor alle weer anders!

Hiernaast zijn er voor WTI2011 ook berekeningen uitgevoerd. Deze zijn echter niet vastgesteld door de minister, maar de uitkomsten horen wel bij de stand der techniek. Resultaten uit deze exercitie moeten dus wel worden meegenomen. Deze berekeningenset wordt de Concept Randvoorwaardeset genoemd, of kortweg de CR2011.

### *Oorsprong van de toetsgetallen per gebied*

#### HR2001:

Oorsprong voor berekeningen uit HR2006 voor Westerschelde, Oosterschelde, Rivieren, Benedenrivieren, IJsselmeer, Markermeer

#### HR2006

Nieuwe berekeningen voor de Hollandsche kust

Update van de getallen voor de Waddenzee: de evidente fouten zijn er uit gehaald. Het betreffen echter nog steeds ontwerprandvoorwaarden die in de HR zijn opgenomen! Voor de Westerschelde zijn nieuwe correctiefactoren afgeleid en doorgevoerd.

IJburg in het Markermeer is van randvoorwaarden voorzien.

#### TMR2006

TMR2006, de thermometerrandvoorwaarden uit 2006 hebben geen officiële status. Wel zijn er nieuwe berekeningen gemaakt voor alle zoete watersystemen.

#### WTI2011/CR2011

Nieuwe berekeningen zijn uitgevoerd voor: de Waddenzee, het Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch, het Europoortgebied, het IJsselmeer, het Ketelmeer, Vossemeer en Zwarte Meer

#### WTI2017

Voor het WTI2017 zal er worden overgegaan van de overschrijdingskans naar een overstromingskans. De uitgevoerde berekeningen voor de hydraulische belastingen zullen worden hergebruikt, met uitzondering van het (Boven)Rivierengebied. Er wordt geen HR-boek meer uitgegeven met per locatie één set toetsrandvoorwaarden. In de nieuwe aanpak ontstaat er voor een locatie per faalmechanisme een set aan hydraulische belastingen.

### *Correcties en gevoeligheidsstudies*

Voor het bijhouden van de laatste ontwikkelingen is doorgaans gewerkt met correctiefactoren. Deze zijn in 2006 ook doorgevoerd in de beschikbaar gestelde databases.

De gevoeligheid van de modeluitkomsten voor veranderingen in de aansturing is tot de WTI2011 maar beperkt onderzocht. Gevoeligheidsstudies in WTI2017 zullen meer duidelijkheid moeten gaan verschaffen.

### *In gezette modellen*

Voor alle brede wateren wordt voor de golfmodellering het SWANmodel toegepast.

Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch, maar ook de Vecht- en IJsseldelta

HISWA is nog gebruikt voor het Markermeer m.u.v. IJburg; zie achtergrondrapport WTI2011.

Voor het (Boven-) Rivierengebied is voor de golven altijd Bretschneider toegepast.

Voor waterbeweging is voor de HR2006 in het (Boven-) Rivierengebied SOBEK toegepast (TMR2006).

WAQUA is gebruikt in de deltas in het kader van de WTI2011. Voor de bovenrivieren geldt dat om golven te berekenen bij 1/1250 keringen (figuur TROB p53, Deelen en Herwijnen) gebruik is gemaakt van de het MHW ontwerpwind snelheden: het is lastig aan te geven hoe onzeker de uitkomsten zijn!

Voor de Maaskades is geen advies te vinden in het TROB!

Voor het WTI2017 geldt dat ook WAQUA voor het Rivierengebied zal worden toegepast, om zo ook de Ruimte voor de Riviermaatregelen mee te kunnen nemen. De aansturing is wel anders: deze volgt uit GRADE. Voor de golven in het Rivierengebied geldt dan ook: als het breed water betreft: dat zal SWAN worden toegepast ipv Bretschneider.

## C Bijlage: Achtergronddocumenten bij de HR2006

### Hoofddocument

Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006), Augustus 2007

Door: Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW)

Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en

Afvalwaterbehandeling (RIZA)

In opdracht van: Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Water, Den Haag

ISBN-nummer 978-90-369-5761-8

NUR 956

---

### Achtergronddocumenten

[A.1] Wet op de Waterkering <http://wetten.overheid.nl>

[A.2] Wet tot wijziging van de Wet op de waterkering en intrekking van de Deltawet grote rivieren, de Deltawet, de Deltaschadewet, de Wet schade oesterkwekers, de Vergunningwet Westerschelde, de Zuiderzeewet en de Zuiderzeesteunwet, Eerste Kamer, vergaderjaar 2004-2005, 29 747, A , 29 maart 2005

[A.3] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken; deel 1: Bovenrivierengebied Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, September 1985

[A.4] Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken; deel 2: Benedenrivierengebied, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, September 1989

[A.5] De basispeilen langs de Nederlandse kust  
Statistisch onderzoek – tekst, rapport DGW-93.023, april 1993  
Statistisch onderzoek – bijlagen, rapport DGW-93.023-deel 2, april 1993  
Fysisch onderzoek, rapport DGW-93.025, april 1993  
Eindverslag, rapport DGW-93.026, april 1993  
Ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen, rapport RIKZ/95.008, mei 1995

[A.6] Decimeringshoogte t.b.v. randvoorwaardenboek (TC-RAND), Rijkswaterstaat, RIKZ-Werkdocument RIKZ/AB-94.136x, S. Pwa, juni 1994

[A.7] De Veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland, Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de tweede toetsronde, 2001-2006 (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2004

[A.8] Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011 (VTV 2006), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ISBN-978-90-369-5762, Augustus 2007

- [A.9] Leidraad zee- en meerdijken, basisrapport, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Rijkswaterstaat, DWW, december 1999
- [A.10] Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen , Rijkswaterstaat, DWW, ISBN-90-3693-718-3, September 1996
- [A.11] Hydraulische Randvoorwaarden voor Primaire Waterkeringen, Rijkswaterstaat, DWW, RIKZ en RIZA, December 2001,
- [A.12] A compound Weibull model for the description of surface wind velocity distribution, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Wetenschappelijk rapport W.R 83 - 13 (FM), P.J. Rijkooort, 1983
- [A.13] De interpretatie van het Rijkooort Weibull model, Rijkswaterstaat, RIZA, RIZA rapport 99.048, C.P.M. Geerse , 20 juli 1999
- [A.14] Windklimaat van Nederland, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Staatsuitgeverij, Den Haag, J. Wieringa, P.J. Rijkooort, 1983
- [A.15] Hoogwatermodel Maas: Onderzoek afvoerverloop tijdens hoge, afvoergolven te Borgharen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. District Zuidoost, Notitie 78.J , K. van Dixhoorn, 1978
- [A.16] Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor de Rijn en zijn takken, Rijkswaterstaat, RIZA, RIZA-rapport 2002.015, M.J.M. Scholten, N.G.M. van de Brink, E.H. van Velzen, D. Beyer, 2007
- [A.17] Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor de Maas, Rijkswaterstaat, RIZA , RIZA-rapport 2002.016 , D. Beyer, N.G.M. van den Brink, M.J.M. Scholten en E.H. van Velzen, 2007
- [A.18] Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het benedenrivierengebied Rijkswaterstaat, RIZA, RIZA-rapport 2002.017, R. Slomp, C.G.J. Geerse, H. de Deugd, 2005
- [A.19] Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor de IJsseldelta, Rijkswaterstaat, RIZA, RIZA-rapport 2002. 018, J. Hartman, H.E.J. Berger, R. Westphal, 2005
- [A.20] Achtergrondrapport HR2006 voor de zoete wateren, Het samenstellen van de Hydraulische Randvoorwaarden 2006, en Thermometerrandvoorwaarden 2006, H.E.J. Berger, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.026, ISBN 978-90-369-1405-5, 2007
- [A.21] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Rijn, Thermometerrandvoorwaarden 2006, E.H. van Velzen, M.J.M. Scholten, D. Beyer, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.021, ISBN 978-90-369-1400-0, 2007
- [A.22] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Maas, Thermometerrandvoorwaarden 2006, E.H. van Velzen, M.J.M. Scholten, D. Beyer, C. Stolker, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.022, ISBN 978-90-369-1401-7, 2007
- [A.23] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Benedenrivieren, Thermometerrandvoorwaarden 2006, J.P. de Waal, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.023 , ISBN 978-90-369-1402-4, 2007

[A.24] Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het Benedenrivierengebied Hydra-B, M.T. Duits, B.I. Thonus, HKV Lijn in Water, PR1240, 2007

[A.25] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Vecht- en IJsseldelta, Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor de Vechtdelta en Thermometerrandvoorwaarden 2006 voor de IJsseldelta, V.A.W. Beijk, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.024, ISBN 978-90-369-1403-1, 2007

[A.26] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Meren Hydraulische Randvoorwaarden 2006, Q. Lodder, Rijkswaterstaat RIZA Rapport 2007.025, ISBN 978-90-369-1404-8, 2007

[A.27] Achtergrondrapport HR 2006 voor de Zee en Estuaria, Hydraulische Randvoorwaarden 2006, Rijkswaterstaat, Rapport RIKZ/2006.029, December 2006

[A.28] Aanvullende inventarisatie ontwerpwaarden Waddenzee, Royal Haskoning, 9R2823, 26 oktober 2005

[A.29] Voorbereiding voor de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor de harde waterkingen langs de Waddenzee, Royal Haskoning 9R2823, 26 oktober 2005

[A.30] Veranderingen en consequenties van nieuwe Hydraulische Randvoorwaarden, Achtergrondrapport HR2006, DWW-2007-017, 2007

Meer informatie is te verkrijgen via:

Email: [contact@helpdeskwater.nl](mailto:contact@helpdeskwater.nl)

Internet: [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl)



## **D Bijlage: Achtergronddocumenten bij de CR2011**

- Brief I&M Beschikbaar stellen nieuwe ontwikkelde kennis
- Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor zee en estuaria
- Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor de Vechtdelta
- Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor het IJsselmeer
- Achtergrondrapportage hydraulische belasting voor de Benedenrivieren

En onderstaande:



# Basis Rapport Concept WTI 2011

Versie 19 juli 2012

Uit bijlage C: Overzicht documentatie concept WTI2011

## Laag 5: Bijlagenrapporten

*HR Zoet*

### Algemeen

- 1) J.P. de Waal (Deltares). Windgolven in HR2011 voor rivieren, Rapport Q4571.21, december 2008
- 2) H. van der Klis (Deltares). Hiaten en oplossingsrichtingen WTI, versie mei 2009, Rapport 1200103-001-ZWS-0010, 10 juni 2009
- 3) C.P.M. Geerse (HKV). Beschrijving faalmechanismen en inventarisatie benodigde belastinggegevens, Rapport bij PR1714.10, juli 2009
- 4) B. Maaskant, N. Slootjes en J. Verkaik (HKV). Validatie golfmodellering; Bovenrivieren, Benedenrivieren en Vecht- IJsseldelta, Rapport bij PR1800.10, 29 januari 2010
- 5) C.P.M. Geerse en J.W. Verkaik (HKV). Effect nieuwe windstatistiek op toetspeilen en benodigde kruinhoogten, Rapport bij PR1601.10, februari 2010
- 6) H. de Waal (Deltares). WTI2011 Wind input to be used in HBC assessment, Rapport 1200103-027-HYE, 25 February 2010

### Benedenrivieren

- 7) M.P.C. De Jong (Deltares). Evaluation of the allowance for seiches in the hydraulic boundary conditions for Europoort, Rapport bij 1200264-006, getekend 8 oktober 2009
- 8) M.J.G. van den Boomgaard (Svašek). WTI SWAN model Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch, Rapport 1582/U10153/C/MB, 19 juli 2010
- 9) A. Tijssen en F. Diermanse (Deltares). Storm surge duration and storm duration at Hoek van Holland, Rapport, 1200264-001, 30 August 2010
- 10) B. van Leeuwen (Svašek). SWAN WTI model Europoort; Toepasbaarheidsonderzoek, Rapport: 1584/U10148/E/BvL, 27 januari 2011
- 11) F. Zijl, D. Kerkhoven, T. Visser en T. van der Kaaij (Deltares). WAQUA model Rijn-Maasmonding; Modelopzet, calibratie en verificatie, Rapport 1202199-005-ZKS-0035, september 2011
- 12) M.P.C. de Jong and J.A.M. de Bont (Deltares). Update of the seiche allowances for the Rotterdam Europoort area, WTI2009/2010; input for the Hydraulic Boundary Conditions 2011, Rapport 1200103-052-ZWS-0005, 10 November 2010
- 13) M.D. Klein en J. Kroon (Svašek). SWAN productieberekeningen Europoortgebied voor WTI-2011: rapportage fase 1, Rapport bij PR1876.10, juni 2011
- 14) J. Kroon en M.D. Klein (Svašek). SWAN productieberekeningen Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch voor WTI2011: rapportage fase 1, Rapport bij PR1876.10, mei 2011
- 15) M.D. Klein en J. Kroon (Svašek). SWAN productieberekeningen Haringvliet, Hollandsch Diep en Biesbosch voor WTI2011: rapportage fase 2, Rapport bij PR1876.10, augustus 2011
- 16) M.D. Klein en J. Kroon (Svašek). SWAN productieberekeningen Europoortgebied voor WTI-2011: rapportage fase 2, Rapport bij PR1876.10, september 2011
- 17) M.D. Klein en B. van Leeuwen (Svašek). Aanvullende SWAN berekeningen in het Europoortgebied, Rapport bij PR1876.10 september 2011
- 18) M.T. Duits (HKV). Productieberekeningen Benedenrivierengebied voor WTI-2011, Fase 3: vullen en testen Hydra-Zoet databases, Rapport bij PR1876, december 2011
- 19) V. Vuik, E. Collard, M. Rotsaert, J. Vieira da Silva (HKV/Svašek). WAQUA-productieberekeningen Benedenrivierengebied voor WTI-2011: rapportage fase 1, Rapport bij PR1876.30, december 2011
- 20) V. Vuik, E. Collard, M. Rotsaert, J. Vieira da Silva (HKV/Svašek). WAQUA-productieberekeningen Benedenrivierengebied voor WTI-2011: rapportage fase 2, Rapport bij PR1876.30, december 2011
- 21) N. Kramer, Q Gao en H. Chbab (Deltares). Waterstandsverlopen Benedenrivierengebied WTI2011, Rapport 1204143-003-ZWS-0018, 22 december 2011
- 22) H. Chbab, N. Kramer, en C. Gautier (Deltares). Verschilanalyse concept HR2011 en HR2006 voor de Benedenrivieren; WTI HR-Zoet, Rapport 1204143-003-ZWS-0017, 22 maart 2012

### IJsselmeer Vecht IJsseldelta

- 23) Q. Gao (Deltares). Evaluatie meerwaarde bij gebruik van Hydra-VIJ voor het IJsselmeergebied, Concept rapport, status voorlopig, december 2009
- 24) J. Lopez de la Cruz, A. Tijssen and J. Beckers (Deltares). The Evolution of Storms on the Wadden Sea, Rapport 1200264-004, February 2010
- 25) M.D. Klein et al. (Svašek). SWAN model van het IJsselmeer. Rapport 1575/U010184/mkl, juli 2010
- 26) M.D. Klein (Svašek). SWAN productieberekeningen IJsselmeer en Zwarte Meer voor WTI-2011: rapportage fase 1, Rapport bij PR1878.10, mei 2011
- 27) M. van der Wal, J. Crebas, A. Spruyt-de Boer, T. Visser, M. Zagonjoli, C. Sprengers, D. Kerhoven, A. Becker (Deltares). WAQUA model IJsselmeer, IJsseldelta en Vecht: opbouw, kalibratie en verificatie, Rapport 1202108-000, 23 augustus 2011
- 28) M.D. Klein en J. Kroon (Svašek). SWAN productieberekeningen IJsselmeer en Zwarte Meer voor WTI-2011: rapportage fase 2, Rapport RP\_02\_4 bij PR1878.10, augustus 2011
- 29) V. Vuik, E. Collard, M. Rotsaert, J. Viera da Silva (HKV/Svašek). WAQUA-productieberekeningen IJsselmeer en Vecht- en IJsseldelta voor WTI-2011; rapportage fase 1, Rapport bij PR1878.10, september 2011
- 30) V. Vuik, E. Collard, M. Rotsaert, J. Vieira da Silva (HKV/Svašek). WAQUA productieberekeningen IJsselmeer en Vecht- en IJsseldelta voor WTI-2011; rapportage fase 2, Rapport bij PR1878.10, september 2011
- 31) M.T. Duits (HKV). Testen databases oeverlocaties IJsselmeer, Memorandum 24 uit perceel 4 bij PR1878.10, 30 september 2011
- 32) M.T. Duits (HKV). Hydra-Zoet databases WTI-2011, Vechtdelta, Rapport bij PR1878, november 2011
- 33) N. Kramer, M. Yossef, Q. Gao, H. Chbab en C. Geerse (Deltares). Waterstandsverlopen Vechtdelta, Rapport 1204143-003-ZWS-0003, 22 december 2011
- 34) H. Chbab (Deltares). Verschilanalyse concept HR2011 en HR2006 voor de Vecht- en IJsseldelta, Rapport 1204143-003-ZWS-0016, 22 december 2011
- 35) A. Kieftenburg en H. Chbab (Deltares). Verschilanalyse concept HR2011 en HR2006 voor IJsselmeer en Ketelmeer, Rapport 1204143-003-ZWS-0021, 22 december 2011
- 36) M.T. Duits (HKV). Concept Toetspeilen HR2011 IJsselmeer, Rapport bij PR1879, december 2011
- 37) M.T. Duits (HKV). Concept Toetspeilen HR2011 Vechtdelta, Rapport bij PR1879, december 2011
- 38) H. Chbab (Deltares). Waterstandsverlopen Meren, IJsselmeer en Markermeer, Rapport 1204143-003-ZWS-0027, 4 juli 2012

### Bovenrivieren

- 39) M.T. Duits (HKV). Afvoergolven Rijn en Maas, in het kader van WTI-2011, Rapport bij PR1699, november 2009
- 40) A. Tijssen (Deltares). Herberekening werklijn Rijn in het kader van WTI2011, Rapport 1200103-044-ZWS-0008, 26 november 2009
- 41) A. Tijssen (Deltares). Herberekening werklijn Maas in het kader van WTI2011, Rapport 1200103-044-ZWS-0007, 26 november 2009
- 42) M.J. Kallen (HKV). Maatgevende afvoeren Rijn en Maas voor WTI-2011; Bayesiaanse analyse van extreme waarden, Rapport bij PR1699.10, november 2009
- 43) H.J.M. Ogink. Design discharge and design hydrograph computation for Meuse and Rhine rivers, Comparison of computational methods, Preliminary Report, January 2012

### Overig

- 44) R. Roscoe, J. Beckers and A. Tijssen (Deltares). Uncertainty of wind statistics, storm surge duration and seiches, SBW Belastingen, Rapport 1200264-008-HYE-0008, 8 February 2010
- 45) C. Gautier (Deltares). SWAN Calibration and Validation for HBC 2011, Deltares report 1200103-020-HYE-0002, 27 May 2010, Rapport, mei 2010

## Laag 6: Overige documentatie

### *HR Zoet*

- 46) N. Slootjes en B. Maaskant (Deltares). Keuzenotitie waterstands- en windmodellering benedenrivierengebied, Memo 1200103-025-ZWS-006, 8 Juli 2009
- 47) B. Maaskant en N. Slootjes (Deltares). Keuzenotitie voor locaties buiten de Europoortkering, Memo 1200103-051-ZWS-0001, 8 juli 2009
- 48) R. Nicolai (HKV) en H. Steenbergen (TNO). Inconsistenties invoer HR Europoortkering, Hollandse Kust en Benedenrivierengebied, Memo PR1837.10, 15 januari 2010
- 49) A. Tijssen en H. Gerritsen (Deltares). Stormopzetduur bij Hoek van Holland, Memo 1200103-000-ZWS-0017, 15 januari 2010
- 50) F. Zijl (Deltares). Aanpassing RMM schematisatie tbv gebruik binnen WTI, Memo, 30 maart 2010
- 51) A. Tijssen (Deltares). Stormopzetduur bij Hoek van Holland - effecten op de toetspeilen, Memo 1202341-003-ZWS-0014, 15 april 2010
- 52) F. Zijl (Deltares). Impact van windschuifspanning op gevolgen afknippen RMM model tbv WTI, Memo, 20 mei 2010
- 53) N. Kramer (Deltares). Randvoorwaarden voor de productieberekeningen van het Benedenrivierengebied met Sobek, Memo 1202341-003-ZWS-0029, 20 mei 2010
- 54) H. Chbab (Deltares). Analyse faseverschil tussen opzet en getij bij Hoek van Holland, Memo, 28 juni 2010
- 55) H.J. Steetzel (Alkyon). Review – Analyse faseverschil tussen opzet en getij bij Hoek van Holland, Memo bij A2619 KBG WTI, 14 juli 2010
- 55a) Repliek Deltares op Review H.J. Steetzel, 2010
- 56) H. Chbab (Deltares). Uitvoerlocaties zoete watersystemen, Memo, 4 januari 2011
- 57) F.J.M. Enet (Alkyon). Actualisatie seiches Europoort, Rapport: C04011.002451R2r1, 15 oktober 2010
- 58) C. Sprengers (Deltares). Productierandvoorwaarden IJsselmeer, Vecht- en IJsseldelta, Memo 1202341-003-ZWS-0024, 3 november 2010
- 59) HKV lijn in water en Svašek Hydraulics. Controlemechanismen productieberekeningen IJsselmeer, Vecht- en IJsseldelta, Memorandum 7 voor perceel 4 bij PR1876.10, 3 november 2010
- 60) P. van den Bosch (Alkyon). Interpolatie bodemhoogte strijkraaien, Memo A2206, 29 november 2010
- 61) P. van den Bosch (Alkyon). Memorandum 79: Interpolatie bodemhoogte strijkraaien Vecht-IJssel delta, Memo PR1564.13/A2206, 25 maart 2011
- 62) M. Duits (HKV). Hydraulische randvoorwaarden categorie c-keringen, Verslaglegging werkzaamheden HRC2011 Veluwerandmeren, PR 2021 memorandum#3, 11 april 2011
- 63) HKV lijn in water en Svašek Hydraulics. Resultaten aanvullende SWAN berekeningen BER, Memorandum 28 voor perceel 3 bij PR1876.10, 21 april 2011
- 64) HKV lijn in water en Svašek Hydraulics. Instabiliteiten door partitionering, memorandum 34 voor perceel 3 bij PR1876.10, 20 mei 2011
- 65) Svašek Hydraulics. Instabiliteiten door partitionering, Aanvulling Memorandum 34 voor perceel 3 bij PR1876.10, 12 mei 2011
- 66) HKV LIJN IN WATER EN Svašek Hydraulics. Faseverschuiving debietranden WAQUA-model Vecht-IJsseldelta, Memorandum 25 voor perceel 4 bij PR1878.10, 6 juni 2011
- 67) Svašek Hydraulics en HKV LIJN IN WATER.. Concept controle productie berekeningen BER, Memorandum 31 voor perceel 3 bij PR1876.10, 14 juni 2011
- 68) H. Chbab (Deltares). Effect op toetspeilen Benedenrivieren van WAQUA-RMM op basis van 108 sommen, Memo 1204143-003-ZWS-0006, 28 juni 2011
- 69) H. Chbab (Deltares). Analyse effect wind in WAQUA-RMM, Memo 1204143.003-ZWS-0013, 23 augustus 2011
- 70) Svašek Hydraulics en HKV LIJN IN WATER. Vergelijking van SWAN en Bretschneider berekeningen ten behoeve van WTI-2011, Memorandum 37 voor Perceel 3, 31 augustus 2011
- 71) J.P. de Waal (Deltares). Keuze golfperiodemaat uit SWAN, Memo, augustus 2011
- 72) M.J. Kallen en J. Udo (HKV). SOBEK productieberekeningen Benedenrivierengebied voor WTI 2011, Eindrapport bij PR1876, 30 november 2011
- 73) H. Chbab en M.P.C. de Jong (Deltares). Toeslagen seiches Europoortgebied voor WTI-2011, Memo 1204143.003-ZWS-0020, 22 december 2011

74) N. Kramer (Deltares). Schaduwdraaien Grade, Memo 1204143-003, 13 maart 2012

---

Toegevoegd

- 75) R.P. Nicolai, K.A. Wojciechowska (HKV LIJN IN WATER). A.C.W.M. Vrouwenvelder en H.M.G.M. Steenbergen (TNO Bouw en Ondergrond). Effect onzekerheden op de Hydraulische Randvoorwaarden, Kwantitatieve analyse van onzekerheden, Rapport bij PR1831.10, september 2010
- 76) R.P. Nicolai, K.A. Wojciechowska (HKV LIJN IN WATER). A.C.W.M. Vrouwenvelder en H.M.G.M. Steenbergen (TNO Bouw en Ondergrond). Effect onzekerheden op de Hydraulische Randvoorwaarden, Interpretaties en conclusies, Rapport bij PR1831.10, september 2010
- 77) A. Kieftenburg en H. Chbab (Deltares). Achtergrondrapport WTI-2011 voor de IJsselmeer, Concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor het IJsselmeer, Ketelmeer en Vossemeer, Rapport 1204143-003-ZWS-0024, 19 juli 2012
- 78) H. Chbab (Deltares). Achtergrondrapport WTI-2011 voor de Vechtdelta, Concept hydraulische randvoorwaarden HR2011 voor de Vechtdelta, Rapport 1204143-003-ZWS-0025, 19 juli 2012



## E Bijlage: Enkele waarschuwings- en alarmeringspeilen voor van belang zijnde kunstwerken

	Schelde	West-Holland	Dordrecht	Den Helder	Harlingen	Delfzijl
<b>Basis-station</b>	Vlissingen	Hoek van Holland	Dordrecht	Den Helder	Harlingen	Delfzijl
<b>Voorwaarschuwingspeil</b>	310	200			260	
<b>Waarschuwingspeil</b>	330	220		190	270	300
<b>Alarmeringspeil</b>	370	280	250	260	330	380

Bron: Helpdeskwater 2013, december

<b>Basisstation</b>	<b>Rijn (Lobith)</b>		<b>Maas (Borgharen)</b>	
	feitelijk	verwachting	feitelijk	verwachting
<b>Voorwaarschuwingspeil</b>	+14.00	+15.00	+42.75	stijgend
<b>Waarschuwingspeil</b>	+14.00	+16.15	+43.55	stijgend
<b>grenspeil</b>	+15.00	+16.75	+44.10	stijgend
<b>alarmeringspeil</b>	+16.75	+17.75	+46.30	stijgend



## F Bijlage: Memo aan ENW

Versio n	Date	Author	Initials Review	Initials Approval	Initials
Def	okt. 2013	A.T.M.M. Kieftenburg	F. den Heijer	M.R.A. Gent	van

### Inleiding

Begin jaren negentig bleek dat tijdens een fikse storm met zware golfaanvallen stenen of betonblokken in Zeeland konden losslaan; de steenbekleding was te licht. Dit was de aanleiding om in 1997 Projectbureau Zeeweringen (PBZ) op te richten. Het projectbureau, een samenwerkingsverband van Rijkswaterstaat en waterschap Scheldestromen, versterkt de steenbekleding van de Zeeuwse dijken. Bij de afronding in 2015 moet 325 km aan dijken versterkt zijn.

Voor het ontwerpen van Steenbekledingen volgt PBZ een vaste werkwijze. Deze is in de loop van de geschiedenis van PBZ ontstaan en vastgelegd. Het projectbureau wil dat de kennis over zeeweringen die is opgedaan in dit 18 jaar durende project blijft 'stromen', of in iedere geval geborgd is. Deze kennis wil PBZ graag delen door deze te koppelen aan de bestaande kennis. Het idee ontstond om de handleiding voor de ontwerpen van PBZ te koppelen aan de bestaande leidraden.

Deze leidraden en de bijbehorende addenda bevatten echter een aantal hiaten en inconsistenties en ook is de tekst soms multi-interpretabel, hetgeen het werken ermee bemoeilijkt. Dit was eerder al geconstateerd bij de kwaliteitsborging van ontwerpen voor het nHWBP. Werken met de leidraden garandeert geen vaste werkwijze en dus ook geen reproduceerbaarheid van het ontwerp. Een soortgelijke problematiek bleek ook te spelen bij Kunstwerken. In 2012 kwam de samenwerking met het Handboek Schutsluizen tot stand. Bij een tweetal gezamenlijke gehouden workshops bleek dat er behoefte is aan meer houvast en een eenduidiger adviestekst voor het maken van ontwerpen als in de Leidraden en addenda staan. Verder bleken ook alleen de mensen die zelf voor PBZ hebben gewerkt de methodiek van PBZ te kennen.

### Relatie tot andere producten en afbakening

Dit memo levert een korte beschrijving van het Handboek voor Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden voor dijken en dammen voor extreme condities (in voorbereiding). Omwille van tijd en budget is de aandacht beperkt tot de type A-keringen. Het Handboek voor Ontwerprandvoorwaarden staat op zichzelf, maar dient ook als Bijlage bij het Handboek Schutsluizen. Het Handboek voor Ontwerprandvoorwaarden is gebaseerd op bestaande kennis. Binnen het project is geen nieuwe kennis gegenereerd.

### Doelstelling van dit memo

Voorliggend memo heeft als doel ENW te informeren over de inhoud van het project voor het maken van het Handboek voor Ontwerprandvoorwaarden en over de belangrijkste geconstateerde bevindingen en aanbevelingen.

Daarnaast is het doel aan de leden van ENW te vragen of de bevindingen worden onderkend, en of de aanbevelingen kunnen worden ondersteund.



## De praktijk van PBZ

De kennis van PBZ is kennis die is gegenereerd en toegepast 'on the job'. Het is dus een empirische ontstane werkwijze. Deze is vastgelegd in wat in de praktijk 'kookboek' is gaan heten. Er is in de ontwerprandvoorwaarden voor PBZ een eenduidige consistente werkwijze gevolgd. Hierbij is ook steeds geleerd uit de praktijk en is waar nodig de werkwijze aangepast. Deze aanpassingen in werkwijze zijn wederom vastgelegd, en dit betekent dat de werkwijze van PBZ's ontwerpen zorgen voor een reproduceerbare set van Hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Aan de hand van de werkwijze is na te gaan of de verandering in inzichten zoals vastgelegd (bijvoorbeeld een verwachte verandering in de bodem) een aanpassing in ontwerprandvoorwaarden tot gevolg zouden moeten hebben. In die gevallen zal er zo snel als mogelijk (en vóór de uitvoering) een update van het detailadvies over de Hydraulische Ontwerp Randvoorwaarden volgen, en daarmee mogelijk ook voor het ontwerp.

## Bestudeerde materie

Om te onderzoeken hoe de werkwijze van PBZ past in de bestaande bredere ontwerp praktijk zijn de vigerende Leidraden voor de verschillende watersystemen bestudeerd:

- Leidraad Rivieren
- Leidraad Zee en Meerdijken
- Addendum Leidraad Rivieren
- Addendum Leidraad Zee en Meerdijken
- Technisch Rapport Ontwerp Belastingen

Deze leidraden en Technische rapporten zijn alle te downloaden via [www.ENWinfo.nl](http://www.ENWinfo.nl)

- Memo ENW techniek 4 september 2007

Informatie over de ontwerp praktijk van PBZ is te vinden in:

- Kookboek inclusief bijlagen:
  - Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen, Deel 1A van 3 Checklist detailadviezen vanaf 1 april 2010, Svašek en Royal Haskoning, 23 februari 2011
  - Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen, Deel 1B van 3: Checklist detailadviezen tot april 2010, Svašek en Royal Haskoning, 23 februari 2011
  - Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen, Deel 2 van 3; achtergrond detailadviezen: Checklist detailadviezen tot april 2010, Svašek en Royal Haskoning, 23 februari 2011
  - Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen, Deel 3 van 3: Verzameling toegepaste notities in detailadviezen: Checklist detailadviezen tot april 2010, Svašek en Royal Haskoning, 23 februari 2011.

Deze informatie is te vinden onder:

[http://www.zeeweringenwiki.nl/mediawiki/index.php/Hydraulische\\_randvoorwaarden](http://www.zeeweringenwiki.nl/mediawiki/index.php/Hydraulische_randvoorwaarden)

## Samenvatting bevindingen

Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste bevindingen. Voor een nadere toelichting wordt verwezen naar de Bijlage van dit memo.

### *Hiaten door inconsistente doorvoering veranderende inzichten*

- Ten gevolge van beleidsontwikkelingen heeft er een verschuiving plaatsgevonden in de benadering van robuustheid. Deze is niet volledig consistent doorgevoerd in de leidraden.
- Aanvullende memo's die dit probleem oplossen zijn niet opgenomen in het overzicht van vigerende leidraden/adviezen.

- Ook zijn er verschillen in de definities in de begrippenlijsten bij de Leidraden en Technische Rapporten.

#### *Versnippering informatie m.b.t. ontwerpen*

- De huidige Leidraden geven weinig houvast voor het afleiden van eenduidige hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Ook is de informatie die er is verspreid over de Leidraden aanwezig en wordt er veel doorverwezen naar Technische Rapporten.

#### *Uniformiteit*

- In de definitie van Veiligheid, samenhang met andere functies, de beheercyclus/ ontwerpproces, uitvoer/ realisatie en dagelijks beheer/ onderhoud komen de Leidraden voor 'Zee en meer' en 'Rivieren' grotendeels overeen.

#### *Achtergronden*

- De herkomst van toeslagen is veelal niet onderbouwd<sup>32</sup>. Ook worden toeslagen toegepast voor verschillende onzekerheden die niet goed uit elkaar worden gehouden. Bovendien verschilt de benadering dit ook nog per Leidraad.
- Ook is de toepassing van toeslagen niet specifiek, zoals de toeslag voor de golfperiode: alle mogelijke periodematen worden voorzien van dezelfde toeslag.
- Het gevolg is dat er geen rekening kan worden gehouden met nieuwe ontwikkelingen, zoals een lagere correctie voor modelonzekerheid. Dit betekent mogelijk een onterecht hoge toeslag.

#### *Gedateerde informatie*

- In de leidraden wordt specifiek verwezen naar inmiddels verouderde data. Het zou beter zijn om dit te relateren aan de up-to-date informatie en aan te geven hoe er omgegaan moet worden met nieuwe informatie. De theorie volgend uit de leidraden is het mogelijk dat een ontwerp deels gebaseerd is op gegevens uit de jaren tachtig van de vorige eeuw, of zelfs op ontwerprandvoorwaarden.
- Dit staat haaks op een gerechtelijke uitspraak (in zake Wilnis (Rechtspraak.nl, 2012)) dat de nieuwste kennis worden toegepast.

#### *Ontwerpen versus toetsen*

- In de Leidraden ontbreekt de link naar de achtergronden van de WTI waar men voor het ontwerpen op voort wil bouwen. Ook mist er informatie over golven in de Hydraulische Randvoorwaarden voor meren, terwijl deze wel noodzakelijk is voor het ontwerp.

#### *Ontsluiting kennis*

- In de praktijk blijkt het lastig de meest recente informatie te verkrijgen, zoals die uit het laatste WTI traject. Doordat marktpartijen dergelijke berekeningen dan maar zelf uitvoeren op basis van hun best guess aan informatie, loopt men het gevaar appels en peren te vergelijken.

#### *Hoe werken de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden door in de faalmechanismen*

- De toe te passen robuustheidstoelagen op de belastingen worden feitelijk op het verkeerde moment in het ontwerpproces vastgesteld. Een robuustheidstoelag zal in principe nooit bedoeld zijn om de belasting te verlagen, maar dit kan wel het effect zijn. Inzicht is nodig in hoe deze randvoorwaarden doorwerken in de belastingsformules voor alle faalmechanismen.

---

<sup>32</sup> Dat is ook al geconstateerd door Vrijling et al.: *Designing Robust Coastal structures*, 2007

- Een mogelijkheid om dit te doen is met geschematiseerde belastingsfuncties zoals die voor de steenzettingen van PBZ zijn opgesteld. Dit zou een waardevolle aanvulling kunnen zijn op de leidraden en het ontwerpinstrumentarium.

#### *Meer soorten belastingsfuncties*

- Het ontwerp moet uiteindelijk aansluiten op de toetspraktijk. Daarom doet men er verstandig aan een soortgelijke benadering te volgen in de benaderingsformules als voor de toetsing (Eenvoudige toets, Gedetailleerde toets, Toets op maat).

#### *Besparingen*

- In de Leidraden worden alleen aanwijzingen gegeven voor een eerste ontwerp op basis van de eenvoudige regels op een robuuste manier. Een betere aansluiting tussen ontwerpen en toetsen kan geld besparen, door scherper te ontwerpen.

#### *Kennis effect van de bodem*

- In de praktijk is gebleken dat de bodem een heel belangrijke factor is voor alle belastingparameters. Er wordt in de leidraden geen richtlijn gegeven hoe hier mee om te gaan.

#### **Advies**

Op basis van de bevindingen worden een aantal aanbevelingen gedaan:

- 1) Maak een compacte leidraad per soort gebruiker, dus per Kennisveld (Veiligheid, Kwaliteit, Procedures). Dus vereenvoudig het werk van de ontwerper en zorg voor reproduceerbaarheid in werkwijze.
- 2) Maak één recept voor alle watersystemen. Dus uniformeer de aanpak, voor alle leidraden uit aanbeveling 1.
- 3) Geef meer achtergronden van werkwijze en van toeslagen. Zorg dus voor transparantie.
- 4) Houdt Hydraulische ontwerprandvoorwaarden en faalmechanismen bij elkaar, zodat duidelijk is hoe toeslagen en correcties doorwerken.
- 5) Zorg vanuit WTI voor een doorverwijzing naar de meest recente stand van zaken in techniek en HR. Dus faciliteer en deel de beschikbare kennis.
- 6) Sluit aan op de werkwijze van de WTI zodat ontwerpen en toetsen op dezelfde achtergronden berusten. Voor het omgaan met onzekerheden zie ook Vrijling *et al.*: *Designing Robust Coastal structures*
- 7) Ontsluit de volledige database met berekeningen die uitgevoerd zijn in het kader van het WTI. Dit spaart geld en garandeert een uniforme aanpak bij zoeken naar andere terugkeertijden e.d.

#### **Vragen aan ENW**

- 1) Wordt het geschetste beeld uit de samenvattende verkenning in dit memo herkend?
- 2) Wat vindt ENW van het advies?

## **Bijlage**

### **Bevindingen op inhoud**

In deze paragraaf worden de belangrijkste bevindingen genoemd die zijn geconstateerd. Een aantal hiervan zijn ook als probleem of ongemak benoemd door de gebruikers tijdens een workshop uit 2012. Meer over de inconsistenties, hiaten en ander bevindingen is te vinden in de rapportage over de bevindingen (zie onder kopje 'Producten' hieronder).

#### *Hiaten door inconsistentie doorvoering veranderende inzichten*

De Leidraden kennen een zekere volgordelijkheid waarin duidelijk de ontwikkelingen in beleid zijn terug te vinden. De filosofie achter de afleiding van de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden heeft zich aangepast in de loop der tijd met een duidelijke verschuiving naar klimaatbestendigheid en kwaliteit. Dit heeft voor de LZM geleid tot het schrijven van een addendum, met daarin aanwijzingen voor onder meer het toepassen van robuustheidstoelagen. De wijze waarop is niet volledig consistent doorgevoerd in de zin dat het addendum specifiek gaat over meerdijken. Voor Zeedijken is er dus geen robuustheidstoelag gedefinieerd. Memo 4 september 2007 van ENW techniek gaat hier nader op in. Noch dit memo, noch andere aanvullende memo's, zijn opgenomen in het overzicht van vigerende leidraden/adviezen.

De benadering van robuustheid lijkt in eerste instantie gelijk of vergelijkbaar. Bij nadere beschouwing blijkt echter dat er inconsistenties zijn. Robuustheid dient voor het opvangen van toekomstige ontwikkelingen en onzekerheden, volgens p62 in de Leidraad Rivieren. Onder de onzekerheden staat o.m. de onzekerheid in de effecten van klimaatverandering (p66). In addendum voor de Leidraad Zee en Meerdijken staat echter op p17: dat ' Conform de adviezen in de Leidraad Zandige Kust en Leidraad Rivieren wordt dit echter meegenomen onder de uitbreidbaarheid van het ontwerp en hier niet als robuustheidstoelag.' Bij de paragraaf Uitbreidbaarheid wordt inderdaad versnelde klimaatverandering genoemd, maar hiernaast wordt op p.67 van de Leidraad Rivieren in de paragraaf 'Eisen voor robuust ontwerpen' een toeslag genoemd van 0,30 m om de onzekerheden (i.e. kennisonzekerheden, modelonzekerheden en onzekerheden in klimaat, p 65 LR) in de waterstanden op te vangen.

#### *Versnippering informatie mbt ontwerpen*

In beide leidraden is er veel aandacht voor het beschrijven van het watersysteem, beheercyclus, procedures. In de Leidraad Rivieren is met name ook kwaliteit en het proces een belangrijk onderdeel. Veel zaken zijn nuttige informatie die een kader aangeven, maar bieden nog geen of onvoldoende houvast voor het afleiden van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden. Daarbij staan op minder logische plaatsen in de tekst harde getallen genoemd, waar een lezer/ontwerper deze niet primair verwacht. Ook is het aantal aanwijzingen in de Leidraden en addenda erg summier en wordt er weer doorverwezen naar Technische Rapporten. In de tweede workshop met de ontwerpers van keringen bleek dat er behoefte is aan bundeling van de aanwijzingen voor ontwerprandvoorwaarden.

#### *Uniformiteit*

Er is een scheiding in de Leidraden tussen 'Zee en meer' versus 'Rivieren'. Echter beide ontwerpleidraden beginnen met een omschrijving van veiligheid. Erna volgen de samenhang met andere functies, de beheercyclus/ontwerpproces, uitvoer/realisatie en dagelijks beheer/onderhoud. De terminologie is anders, maar de strekking is vergelijkbaar.

De uitspraak in het addendum voor de Leidraad Zee en Meerdijken is derhalve niet consistent hiermee.

Ook definities van bijvoorbeeld waakhoogte verschillen tussen de verschillende leidraden.

### *Achtergronden*

De herkomst van toeslagen laat zich raden: de robuustheidstoelage in het addendum Zee en meerdijken van 10 % voor Hs en T komt uit de tijd dat bekend was dat het gebruikte golfmodel de periodemaat onderschatte. Het is in de leidraad, echter, niet nader gespecificeerd waar deze toeslag vandaan komt en ook niet of de toeslag op de periode wel geldt voor alle soorten spectrale golfperiodes. N.B. Bovendien is een langere golf niet altijd meer belastend.

- In het kader van WTI/SBW is er, sinds het uitkomen van de leidraden een aantal verbeteringen in het instrumentarium doorgevoerd (Hydra, SWAN). In het Technisch Rapport Ontwerp Belastingen wordt dit onderkend en worden toekomstige ontwikkelingen genoemd, die invloed kunnen hebben op de toeslag voor de modelonzekerheid.

De aanwijzingen voor toeslagen op bijv. de golfparameters, die in de leidraden of de addenda staan, houden hier geen rekening mee, maar gaan uit van de oude situatie. Omdat de achtergronden van bijv. de 10% voor de golfhoogte en periode onduidelijk zijn, kan dit leiden tot onnodig hoge toeslagen.

Er worden diverse concrete modellen genoemd met hun eigenschappen, zoals de overschatting van de golfhoogte met Bretschneider (TROB) en de onderschatting van de golfperiode voor SWAN. Hoe om te gaan met deze modelonzekerheden wordt niet expliciet beschreven. Dit heeft inmiddels wel de aandacht in WTI2017.

### *Gedateerde informatie*

In de leidraden staat op diverse plaatsen verouderde informatie. Zo is de WoW vervangen voor de Waterwet. Verder zou er in principe sprake zijn van 6 jaarlijkse toetsing maar deze is echter in 2011 niet vastgesteld. Voor de ontwerpandvoorwaarden is dit van belang omdat in de leidraden wordt verwezen naar de vigerende HR als basis. Echter omdat de WTI 2011 nooit zijn vastgesteld is de informatie inmiddels ouder dan de beoogde 6 jaar. En ook de vigerende HR uit 2006 is deels gebaseerd op 'nieuwe' berekeningen van kort voor 2006, maar ook deels gebaseerd op gegevens uit de jaren tachtig van de vorige eeuw, of zelfs op ontwerpandvoorwaarden. De vraag voor deze laatste twee is of men hier wel verder mee wil of kan bouwen.

Bovendien is er kennis gegenereerd in het kader van o.a. SBW/WTI en kan deze ook worden toegepast. En volgens een gerechtelijke uitspraak (in zake Wilnis (Rechtspraak.nl, 2012)) moet deze ook worden toegepast. Aan het 'hoe dit te doen' is tot op heden nog geen aandacht besteed.

### **Bevindingen: wat kan er beter?**

#### *Ontwerpen versus toetsen*

Hoewel er voor het ontwerpen van keringen middels de leidraden een scheiding tussen 'Zee en meer' versus 'Rivieren' lijkt te zijn, worden in de HR juist meren en rivieren gelijkgeschakeld. Voor meren worden er net als voor rivieren, hoewel wel berekend, in het HR-boek geen golfrandvoorwaarden afgegeven. Deze berekeningen zijn wel degelijk nodig voor het ontwerpen van keringen.

In de Leidraden ontbreekt de link naar de achtergronden van de WTI waar men voor het ontwerpen op voort wil bouwen.

Informatie over de HR is op te vragen bij de Helpdesk Water. De vraag is of hier ook nog informatie is te vinden over de oorsprong van de getallen van de oudste berekeningen uit de jaren tachtig (zoals de toetspeilen Oosterschelde).

#### *Ontsluiting kennis*

In de praktijk blijkt het lastig de meest recente informatie te verkrijgen als deze nog niet vrijgegeven is: de data, de achtergronden en de onderzoeksresultaten van WTI/SBW zijn vaak

nog aan verandering onderhevig tot het moment van vrijgave door het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Tijdens de workshop bleek daarom dat in de praktijk dit inhoudt dat marktpartijen onder tijdsdruk zelf dergelijke berekeningen uitvoeren op basis van hun best guess aan informatie.

Soms is ook voor andere terugkeertijden informatie over waterstanden, golfhoogte en/of golfperiode nodig. Deze informatie is in principe uit de set van berekeningen die voor de HR zijn uitgevoerd in het kader van het WTI te halen. Het gebruik van (de opzet van) deze berekeningen voorkomt dubbelingen in werk, en zorgt ervoor dat nieuwe berekeningen op een gelijke wijze tot stand komen en er dus geen appels en peren vergeleken worden. Immers: de HR zij op een zeer consciëntieuze wijze tot stand gekomen.

### *Verband ontwerprandvoorwaarden en faalmechanismen*

In de praktijk van PBZ zijn Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden en het faalmechanisme waarvoor ze worden gebruikt (steenzettingen) met elkaar in verband gebracht middels geschematiseerde belastingsfuncties. Deze zijn geprogrammeerd in een deterministisch model dat Windwater heet.

Een dergelijke aanpak is niet elders in de ontwerp praktijk toegepast tot nu toe. Deze kennis wil PBZ graag ontsluiten en zou een waardevolle aanvulling kunnen zijn op de leidraden en het ontwerp instrumentarium.

### *Hoe werken de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden door in de faalmechanismen*

In de praktijk van het toetsen en ontwerpen zijn belasting en sterkte gescheiden sporen. Pas op het allerlaatst, bij het toepassen van Hydra-modellen, worden deze sporen bij elkaar gebracht. Alle correcties op parameters, robuustheidstoelagen, e.d. op zowel de sterkte als de belastingen worden dus pas op het laatst met elkaar geconfronteerd. Dit kan leiden tot onbedoelde effecten voor de robuustheid van het ontwerp, als men hier niet alert op is.

Voorbeeld:

In handreiking toetsen op gras is een formule te vinden voor golfoploop:

*Belastingsfunctie  $V$  is evenredig met  $H_s / T_p * F(H_s, T_p)$*

Een robuustheidstoelag van +10% zoals genoemd in het addendum op de leidraad voor Zee en meerdijken op T geeft op het eerste deel van de belastingsfunctie juist een verlagend effect. Het is nu afhankelijk van de wiskundige vorm van  $F(H_s, T_p)$  wat dit betekent voor de totale belasting. Een robuustheidstoelag zal in principe nooit bedoeld zijn om de belasting te verlagen.

Een dergelijk inzicht meenemen in de leidraden is nuttig om goed te kunnen adviseren over de toepassing van bijv. robuustheidstoelagen.

Met geschematiseerde belastingsfuncties zoals die voor de steenzettingen van PBZ zijn opgesteld, en welke zijn geprogrammeerd in het deterministische softwaremodel Windwater, is wel direct te zien wat een verandering in de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden betekent voor de belastingsfunctie (en daarmee het ontwerp van de steendikte).

In een notendop: voor het effect van de verschillende toelagen op de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden op de robuustheid van een dijk- of damontwerp, is inzicht nodig hoe deze randvoorwaarden doorwerken in de belastingsformules voor alle faalmechanismen.

Windwater zou kunnen worden uitgebreid met de belastingsfuncties van andere faalmechanismen.

*Meer soorten belastingsfuncties*

Zoals hierboven gesteld is het van belang om te weten hoe de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden doorwerken op de faalmechanismen. Om nu met het ontwerp aan te sluiten op de toetspraktijk doet men er verstandig aan dezelfde benadering te volgen in de benaderingsformules als voor de toetsing. De doorwerking van de belastingsparameters kan verschillend voor de diverse niveaus worden beschouwd.

- Eenvoudige toets
- Gedetailleerde toets
- Toets op maat

Hierbij zal immers bij iedere stap een andere formulebenadering gelden en daarmee een andere doorwerking van de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden met al zijn toeslagen op de belastingsfunctie horende bij dat faalmechanisme.

### *Besparingen*

Er is meer aandacht nodig voor de grote parallellen tussen ontwerpen en toetsen. Een betere aansluiting van beide kan geld besparen. De eenvoudige toets is een soort bovengrens. Voldoet een ontwerp aan deze toets voor de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden die ook aan het einde van de planperiode geldt, dan is deze zeker robuust voor dat faalmechanisme. Marges worden kleiner bij de volgende stap. In de Leidraden worden alleen aanwijzingen gegeven voor een eerste ontwerp op basis van de eenvoudige regels op een robuuste manier. Door nu scherper te ontwerpen en daarbij wel de robuustheidstoelagen toe te passen zou een ontwerp van een kering kunnen worden gedownscaled waardoor deze goedkoper wordt. Ook kunnen de robuustheidstoelagen worden geoptimaliseerd. Hiervoor zijn verder geen concrete aanwijzingen te vinden in de leidraden hoewel dit wel degelijk tot besparingen zou kunnen leiden.

### *Kennis effect van de bodem*

In de praktijk van PBZ en WTI blijkt steeds opnieuw dat de bodem een heel belangrijke factor is voor de berekende golfparameters en waterstanden. Deze belastingsparameters zijn de uitkomsten van modellen, waarbij de bodem modelinvoer is. Aangezien dit uitkomsten zijn, waarbij de bodem modelinvoer is, betekent toepassing van een andere bodemgeometrie ook een ander belasting. Hier wordt in de leidraden relatief weinig aandacht aan besteed en er worden geen richtlijnen gegeven hoe hier mee om te gaan.

Er wordt wel aangegeven dat de HR uitgangspunt zijn. Maar wat deze getalsmatig inhouden is sterk bepaald door de uitgangspunten met betrekking tot de bodem in de tijd van het afleiden van de HR.

Zo is er in Zeeland rekening gehouden met een baggerregime en daling van de schorren en slikken, waar voor de HR2006 er een samengestelde bodem is gemaakt die gebaseerd is op een actuele bodem. Diverse studies zijn hiervoor uitgevoerd, zoals de Schor en slikprognose Bodemprognose Oosterschelde. Voor zowel golven als waterstanden kan de toegepaste bodemschematisatie sterke invloed hebben op de uitkomsten van de berekeningen.

Met het oog op deze bevindingen is het dan ook vreemd te noemen dat in het rivierengebied voor golftoeslagen gerekend wordt met een representatieve diepte en strijklengte, en dat de beheerder bij het toetsen de vrijheid heeft de representatieve bodemdiepte en/of strijklengte volledig aan te passen.

## **Producten**

Workshop

Workshopverslag

### Bevindingen

Product 1A: Compacte bundeling van de leidraden

Product bijlage: Lijst met definitie's

Product 1B: Bevindingen

### Advies



Product 1C: Compacte bundeling van leidraden met Adviestekst hoe deze toe te passen naar aanleiding van bevindingen

Aanvulling voor ontwerper

Achtergronden bij de vigerende HR  
Aanvullingen op leidraden en HR  
Doorvertaling naar faalmechanismen

## **G Bijlage: Belastingsparameters in faalmechanismen**

In deze bijlage volgt er per faalmechanisme een korte beschrijving. Hierna worden de formules opgesomt die hierbij worden toegepast in de verschillende niveaus voor de toetsing. Deze kunnen immers ook voor ontwerp worden ingezet en bovendien moet er als controle van een ontwerp altijd getoetst worden. In de formules die volgen zijn de belastingsfuncties die horen bij de faalmechanismen zo omgewerkt dat de belastingsparameters zo expliciet mogelijk zichtbaar zijn. Hierdoor kan duidelijk worden hoe correcties, toeslagen e.d. doorwerken in de faalmechanismen.

Dit is voor ieder faalmechanisme anders en moet daarom per faalmechanisme onderzocht worden.

De tot nog toe onderzochte faalmechanismen zijn:

- Piping en Heave
- Oploop en overslag
- Steenbekledingen

# Memo

**Aan**  
Annette Kieftenburg

**Datum**  
18 februari 2015

**Aantal pagina's**  
14

**Van**  
Dana Stuparu

**Doorkiesnummer**  
+31(0)88335 8046

**E-mail**  
dana.stuparu@deltares.nl

**Onderwerp**  
Algemene formules voor steenzettingen, invloed van lange golven op de stabiliteit van de toplaag

## 1 Aanleiding

Deze memo presenteert de formules ontwikkeld voor het toetsen en ontwerpen van steenzettingen. In deze memo zullen alleen de belastingfuncties met betrekking tot de invloed van lange golven op de stabiliteit van de toplaag bekeken worden.

### 1.1 Blokken

Volgens (Breteler, 21 oktober 2009) en (Rest, 18 januari 2010) de dikte toplaag  $\Delta D$  voor (gekantelde) betonblokken is als volgt gedefinieerd:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot \xi_0^{-\frac{2}{3}} \quad (1)$$

De uitdrukking  $\frac{H_{m0}}{\Delta D}$  is genoemd de stabiliteit parameter.

Waarin:

Tabel 1.1 Symbolen

$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
$\Delta D$	Dikte toplaag	[ m ]
$F$	Constructie afhankelijke constante	[ - ]
$\xi_0$	Brekerparameter: $\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[ - ]
$\alpha$	Hoek van het talud	[ ° ]
$s_0$	Golfsteilheid: $s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[ - ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]
$g$	Versnelling van de zwaartekracht	[m/s <sup>2</sup> ]

## 1.2 Gedetailleerde berekeningen

De gedetailleerde uitbreiding van de formules zijn hieronder beschreven:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot \xi_0^{-\frac{2}{3}} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot \xi_0^{\frac{2}{3}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot \left( \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{s_0}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{\frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{g}{2\pi}} \cdot \frac{(T_{m-1,0})^{\frac{2}{3}}}{\sqrt[3]{H_{m0}}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{g}{2\pi}} \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{2}{3}} \cdot (H_{m0})^{\frac{2}{3}} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{g}{2\pi}} \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = c_1 \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}} \Leftrightarrow$$

$$\text{met } c_1 = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{g}{2\pi}} = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{2}{3}} \cdot 1.16$$

Bijgevolg, de toplaagdikte heeft de volgende form:

$$\Delta D = c_1 \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}}$$

Met de stabiliteit:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{H_{m0}}{c_1 \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}}} = \frac{1}{c_1} \cdot \left( \frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

## 1.3 Visualisatie

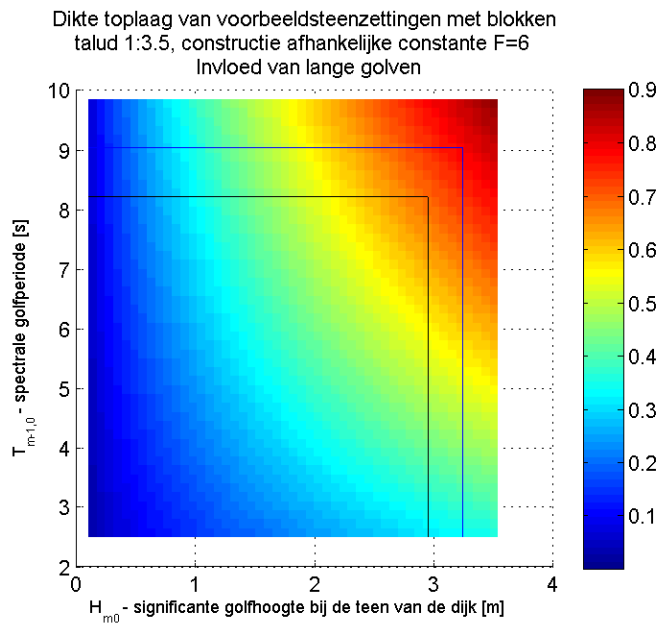
Onder onderstaande veronderstellingen, kan de bovenstaande formules worden gevisualiseerd. Wij beschouwen  $H_{m0} \in [0.1, 2.95]$  en  $T-1,0 \in [2.5, 8.2]$

Deze waarden zijn de minimale en maximale waarden voor  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  en komen uit de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen, voor alle locaties in het Nederland.

Tabel 1.2 Veronderstellingen

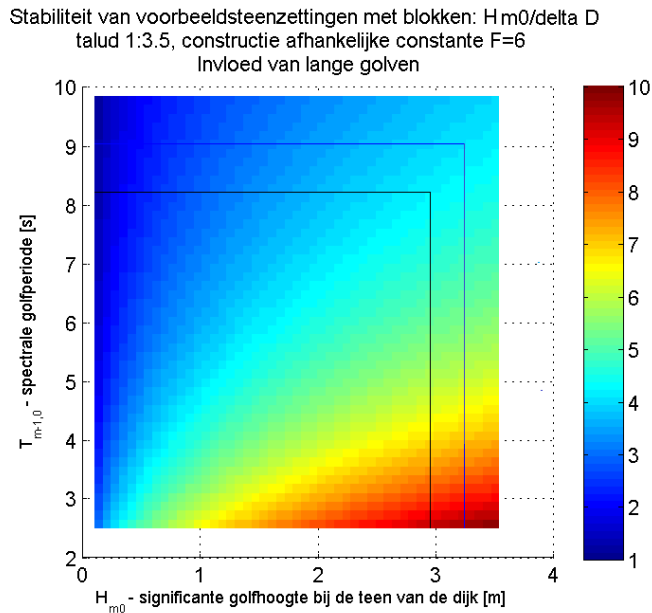
Symbool	Waarde
$F$	6
$\tan \alpha$	1/3.5
$\pi$	3.1416
$g$	9.81

In Figuur 1.1, de zwarte lijn geeft de  $\Delta D$  waarde die overeenkomt met de maximale waarde van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . Deze waarden komen uit de Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor het toetsen van primaire waterkeringen, voor alle locaties in het Nederland. De blauwe lijn geeft de  $\Delta D$  waarde als gevolg van een stijging van 10 procent van het maximum van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .



Figuur 1.1 Dikte toplaag van steenzettingen met blokken

We illustreren ook de stabiliteit in Figuur 1.2.



*Figuur 1.2 Stabiliteit van steenzettingen met blokken*

Om de invloed van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  aan  $Z$  beter te kwantificeren, kunnen we de relatieve toename berekenen:

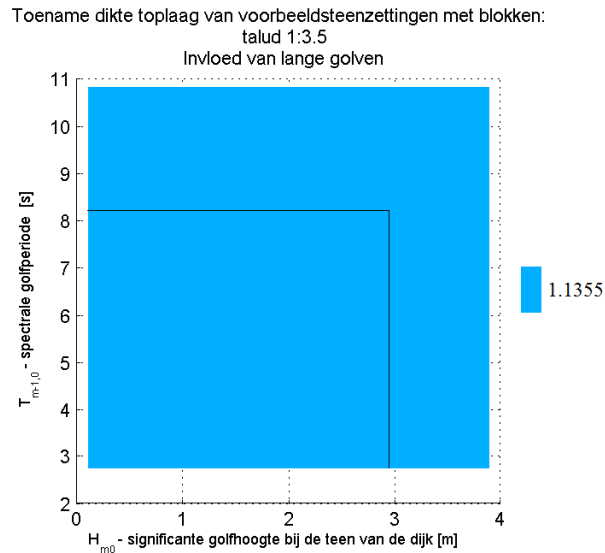
$$\text{Relatieve toename} = \frac{Z(H_{m0} + 10\% \cdot H_{m0}, T_{m-1,0} + 10\% \cdot T_{m-1,0})}{Z(H_{m0}, T_{m-1,0})}$$

Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 1.3

Hier kunnen we zien dat het verhogen van beide  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  met 10% resulteert in een relatieve toename van  $Z$  gelijk als 1.1355 voor alle  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  (zie ook Figuur 1.3)

Dit komt omdat:

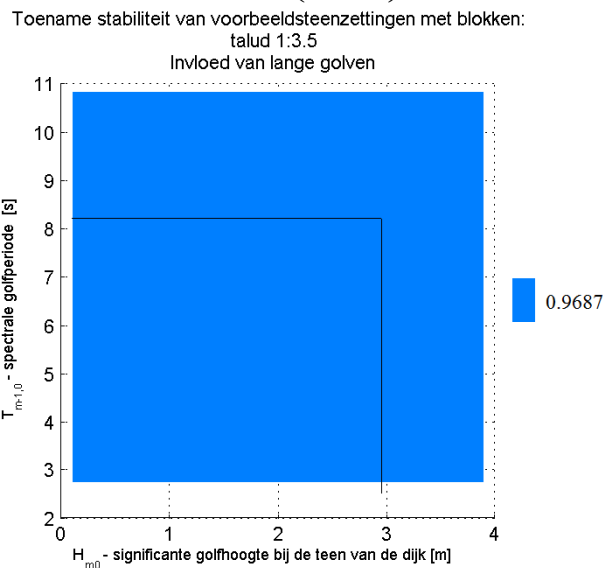
$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\Delta D} = \frac{c_1 \cdot (1.1 \cdot T_{m-1,0} \cdot 1.1 \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}}}{c_1 \cdot (T_{m-1,0} \cdot H_{m0})^{\frac{2}{3}}} = 1.1^{\frac{4}{3}} = 1.1355$$



Figuur 1.3 *Relative toename Dikte toplaag van steenzettingen met blokken*

Om de relatieve toename voor de stabiliteit te rekenen, hebben wij:

$$\frac{\left[ \frac{H_{m0}}{\Delta D} \right]_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\left[ \frac{H_{m0}}{\Delta D} \right]} = \frac{\frac{1}{c_1} \cdot \left( \frac{1.1 \cdot H_{m0}}{(1.1 \cdot T_{m-1,0})^2} \right)^{\frac{1}{3}}}{\frac{1}{c_1} \cdot \left( \frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2} \right)^{\frac{1}{3}}} = 1.1^{\frac{1}{3}} = 0.9687$$



Figuur 1.4 *Relative toename stabiliteit van steenzettingen met blokken*

## 2 Betonzuilen

Volgens (Breteler, 21 oktober 2009) moet de Z-functie voor betonzuilen in twee verschillende takken worden opgedeeld, namelijk een tak waarbij  $\xi_0 \leq 2$  en een tak waarbij  $\xi_0 > 2$ .

Uitgaande van een taludhelling  $\tan \alpha$  van 1/3.5, verandert dit criterium in  $s_0 < 0.02$  en  $s_0 > 0.02$ . Omdat bij een andere taludhelling de grens waar de twee takken elkaar kruisen niet meer bij  $s_0 = 0.02$  ligt, is hier gekozen om als criterium de  $\xi_0 \leq 2$  of  $\xi_0 > 2$  aan te houden.

Voor deze criteria heeft de Z-functie voor betonzuilen de volgende vorm (Breteler, 21 oktober 2009):

- **Criterium**  $\xi_0 \leq 2$

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot \xi_0^{-\frac{1}{3}} \quad (3)$$

- **Criterium**  $\xi_0 > 2$

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot 2^{-\frac{1}{3}} - 1 + \frac{\xi_0}{2} \quad (4)$$

### 2.1 Gedetailleerde berekeningen criterium $\xi_0 \leq 2$

De gedetailleerde uitbreiding van de formules worden hieronder uitgebreid:

$$\begin{aligned} \frac{H_{m0}}{\Delta D} &= F \cdot \xi_0^{-\frac{1}{3}} \Leftrightarrow \\ \Delta D &= \frac{1}{F} \cdot \xi_0^{\frac{1}{3}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow \\ \Delta D &= \frac{1}{F} \cdot \left( \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow \\ \Delta D &= \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt[6]{s_0}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow \\ \Delta D &= \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt[6]{\frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow \\ \Delta D &= \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt[6]{\frac{g}{2\pi}} \cdot \frac{(T_{m-1,0})^{\frac{2}{6}}}{\sqrt[6]{H_{m0}}} \cdot H_{m0} \Leftrightarrow \end{aligned}$$



$$\Delta D = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt[6]{\frac{g}{2\pi}} \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} \cdot (H_{m0})^{\frac{5}{6}} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} \cdot (H_{m0})^{\frac{5}{6}}$$

$$\text{met } c_2 = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt[6]{\frac{g}{2\pi}} = \frac{1}{F} \cdot (\tan \alpha)^{\frac{1}{3}} \cdot 1.0771$$

Daarvoor wordt de dikte toplaag van betonzuilen berekend (toen  $\xi_0 \leq 2$ ):

$$\Delta D = c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} \cdot (H_{m0})^{\frac{5}{6}}$$

En de stabiliteit:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{H_{m0}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} \cdot (H_{m0})^{\frac{5}{6}}} = \frac{H_{m0}^{\frac{1}{6}}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}}} = \frac{1}{c_2} \cdot \left( \frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2} \right)^{\frac{1}{6}}$$

## 2.2 Gedetailleerde berekeningen Criterium $\xi_0 > 2$

De gedetailleerde uitbreiding van de formules is als volgt.  
Wij hebben:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1 + \frac{\varepsilon_0}{2} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{H_{m0}}{F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1 + \frac{\varepsilon_0}{2}} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{H_{m0}}{F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1 + \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \right)} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{H_{m0}}{F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1 + \frac{1}{2} \cdot \tan \alpha \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{\frac{2\pi \cdot H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}}} \right)} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{H_{m0}}{F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1 + \frac{1}{2} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)} \Leftrightarrow$$

$$\Delta D = \frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}$$

met  $c_3 = F \cdot 2^{\frac{1}{3}} - 1$  en  $c_4 = \frac{1}{2} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}}$

En de stabiliteit is:

$$\frac{H_{m0}}{\Delta D} = \frac{H_{m0}}{\frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}} = c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)$$

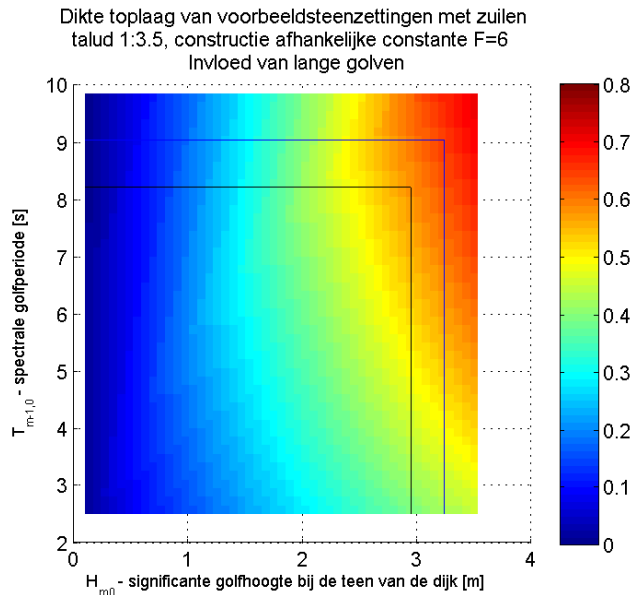
### 2.3 Visualisatie

Onder onderstaande veronderstellingen, kan de bovenstaande formules als volgt worden gevisualiseerd:

Tabel 2.1 Veronderstellingen

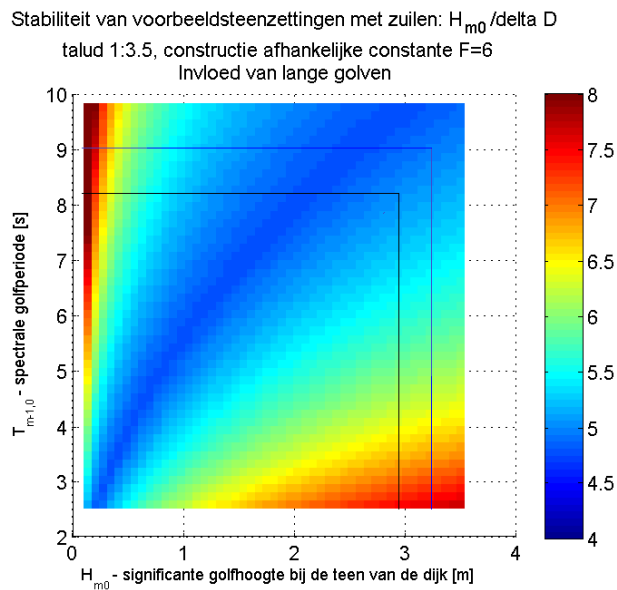
Symbol	Waarde
$F$	6
$\tan \alpha$	1/3.5
$\pi$	3.1416
$g$	9.81

In Figuur 1.3, de zwarte lijn geeft de  $\Delta D$  waarde die overeenkomt met de maximale waarde van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . De blauwe lijn geeft de  $\Delta D$  waarde als gevolg van een stijging van 10 procent van het maximum van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .



Figuur 2.1 *Dikte toplaag voor steenzettingen met zuilen*

En de stabiliteit is als volgt:



Figuur 2.2 *Stabiliteit voor steenzettingen met zuilen*

Voor steenzettingen met zuilen, de verhoging van 10% van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  resulteert altijd in een relatieve toename van de dikte toplaag tussen [1.0689, 1.1176] voor alle  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  (zie Figuur 2.3).

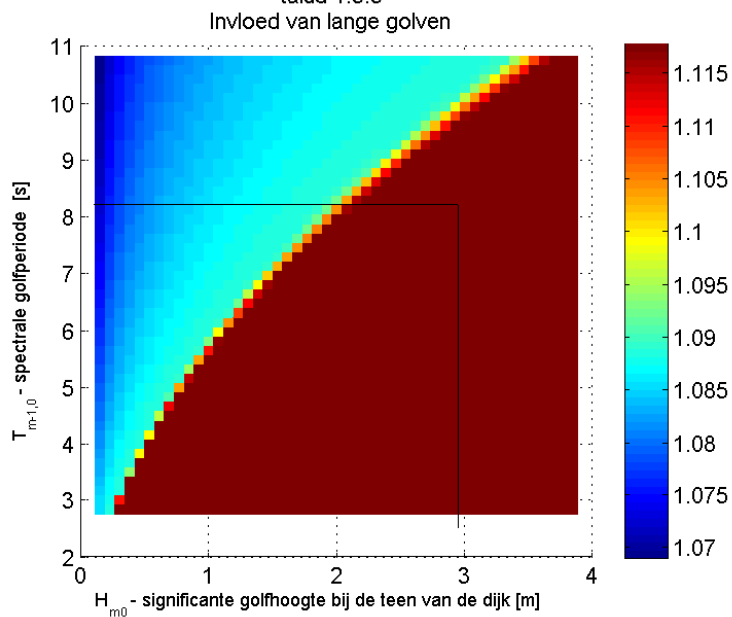
In het gebied van lichtblauwe streek is vertegenwoordigd voor het gebied waar  $\xi_0 \leq 2$ . Dan hebben wij:

$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\Delta D} = \frac{c_2 \cdot (1.1 \cdot T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (1.1 \cdot H_{m0})^{\frac{5}{6}}}{c_2 \cdot (T_{m-1,0})^{\frac{1}{3}} (H_{m0})^{\frac{5}{6}}} = 1.1^{\frac{1}{3} + \frac{5}{6}} = 1.1^{\frac{7}{6}} = 1.1176$$

In het blauwe gebied, de relatieve toename is afhankelijk van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .

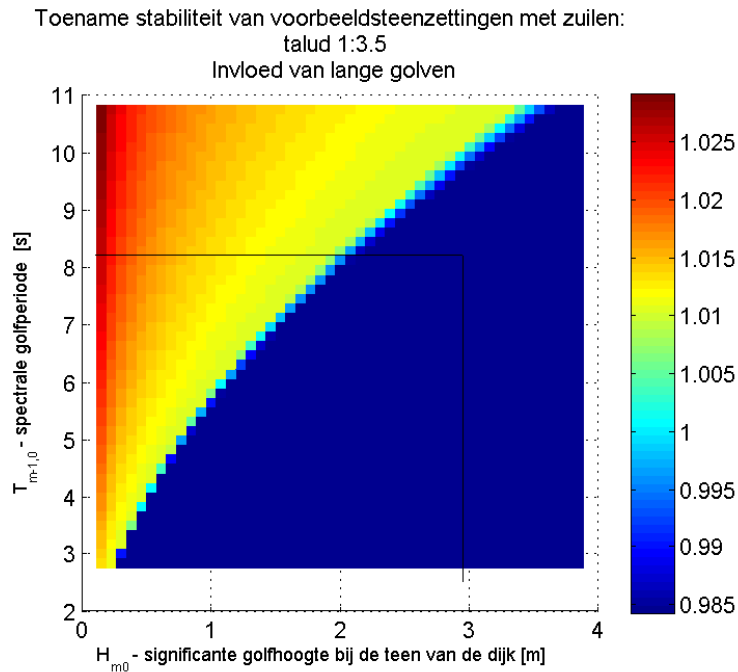
$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\Delta D} = \frac{\frac{H_{m0}}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}}{1.1 \cdot H_{m0}} = \frac{1}{1.1} \cdot \frac{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{T_{m-1,0}}{\sqrt{H_{m0}}} \right)}{c_3 + c_4 \cdot \left( \frac{1.1 \cdot T_{m-1,0}}{\sqrt{1.1 \cdot H_{m0}}} \right)}$$

Toename dikte toplaag van voorbeeldsteenzettingen met zuilen:  
talud 1:3.5



*Figuur 2.3 Relatieve toename dikte toplaag voor steenzettingen met zuilen*

We kunnen een vergelijkbaar patroon voor de relatieve toename voor stabiliteit in Figuur 2.4 zien.



Figuur 2.4 Relatieve toename stabiliteit voor steenzettingen met zuilen

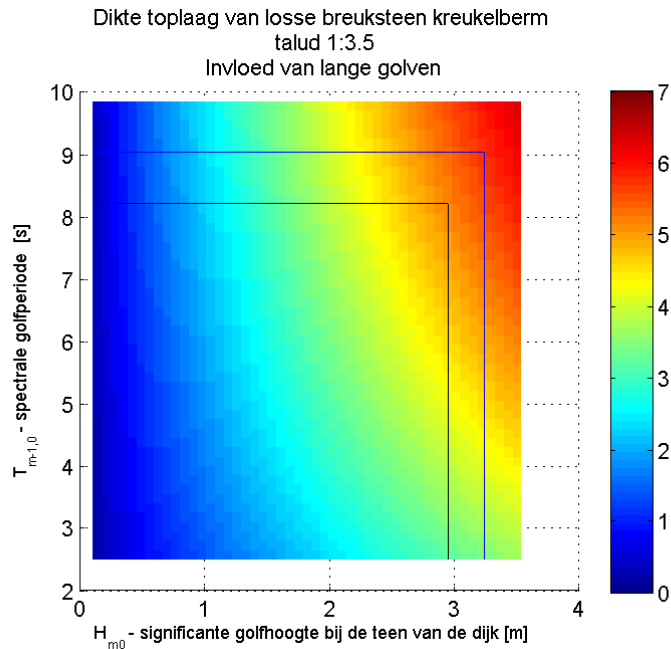
### 3 Losse breuksteen kreukelberm

Losse breuksteen kan zowel op het talud als de kreukelberm worden toegepast. De vereenvoudigde Z-functie is afgeleid met behulp van:

$$Z = \Delta D_{n50} = H_{m0}^{0.75} \cdot T_{m-1,0}^{0.4}$$

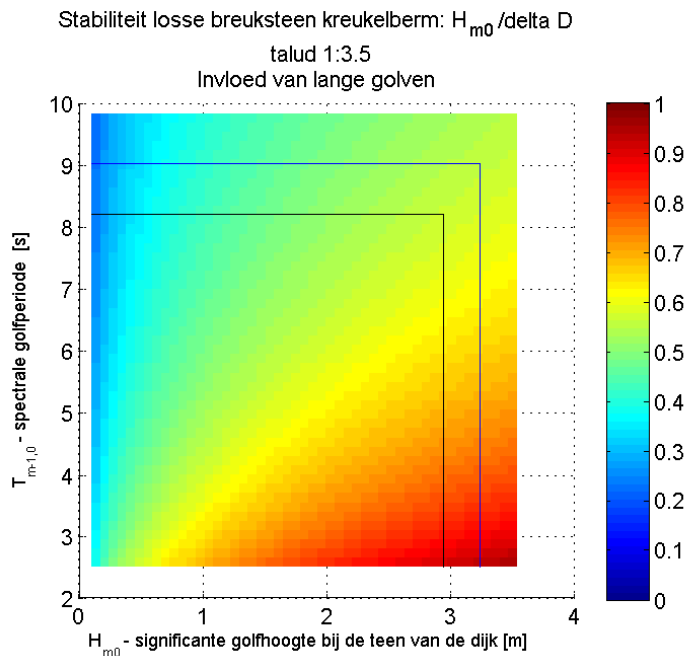
#### 3.1 Visualisatie

In Figuur 3.1, de zwarte lijn geeft de  $\Delta D$  waarde die overeenkomt met de maximale waarde van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . De blauwe lijn geeft de  $\Delta D$  waarde als gevolg van een stijging van 10 procent van het maximum van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .



Figuur 3.1 Dikte toplaag steenzettingen met losse breuksteen

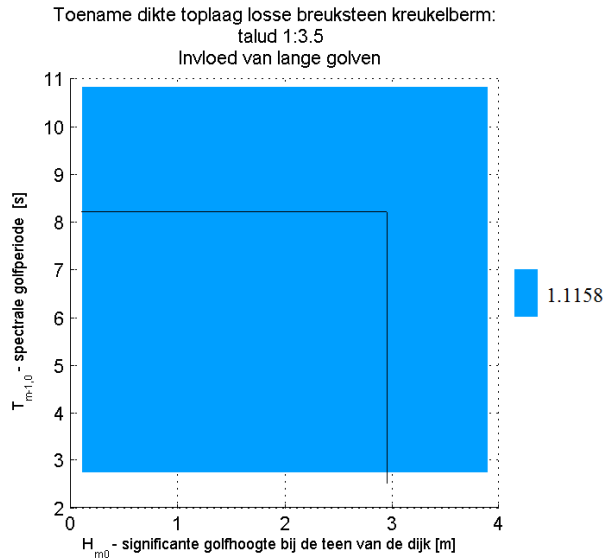
En de stabiliteit is te zien in Figuur 3.2.



Figuur 3.2 Stabiliteit steenzettingen met losse breuksteen

Het verhogen van beide  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  met 10% resulteert in een relatieve toename van  $Z$  gelijk als 1.1158 (zie Figuur 3.3). Dit is omdat:

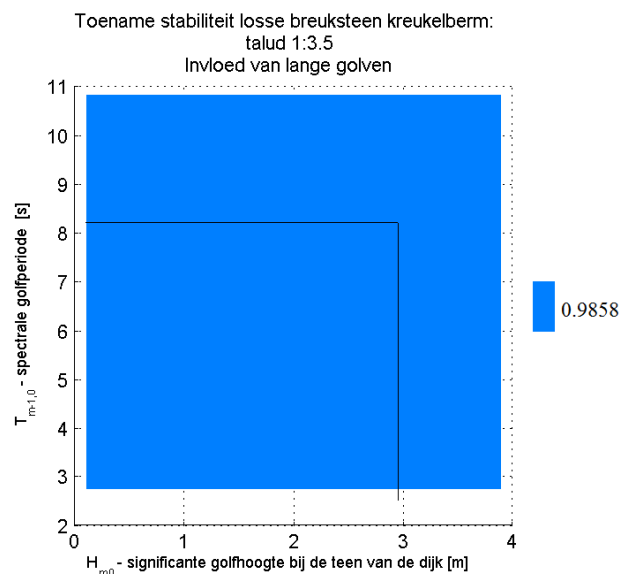
$$\frac{\Delta D_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\Delta D} = \frac{(1.1 \cdot H_{m0})^{0.75} \cdot (1.1 \cdot T_{m-1,0})^{0.4}}{H_{m0}^{0.75} \cdot T_{m-1,0}^{0.4}} = 1.1^{1.15} = 1.1158$$



**Figuur 3.3** *Relatieve toename dikte toplaag steenzettingen met losse breuksteen*

Nochtans, de relatieve toename instabiliteit is lager dan 1, zie Figuur 3.4

$$\frac{\left[ \frac{H_{m0}}{\Delta D} \right]_{\text{met } H_{m0} \text{ en } T_{m-1,0} \text{ toegenomen}}}{\left[ \frac{H_{m0}}{\Delta D} \right]} = \frac{\frac{1.1 \cdot H_{m0}}{(1.1 \cdot H_{m0})^{0.75} \cdot (1.1 \cdot T_{m-1,0})^{0.4}}}{\frac{H_{m0}}{H_{m0}^{0.75} \cdot T_{m-1,0}^{0.4}}} = \frac{1.1}{1.1^{1.15}} = 0.9858$$



**Figuur 3.4** *Relatieve toename stabiliteit steenzettingen met losse breuksteen*

## 4 Bibliografie

(n.d.).

Breteler, M. K. (21 oktober 2009). *Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities*.

Rest, P. v. (18 januari 2010). *Memo nieuwe belastingfuncties steenbekledingen*. Svasek Hydraulics.



## Memo

**Aan**  
Annette Kieftenburg

**Datum**  
18 februari 2015

**Aantal pagina's**  
6

**Van**  
Dana Stuparu

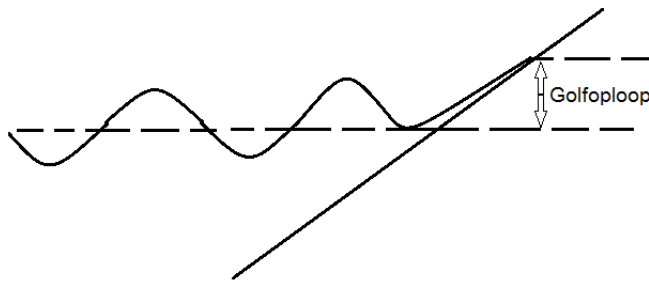
**Doorkiesnummer**  
+31(0)88335 8046

**E-mail**  
dana.stuparu@deltares.nl

**Onderwerp**  
Algemene formule voor de golfloop

---

### 1 Aanleiding



*Figuur 1.1* Golfophoogte

Het doel van het memo is om een basis te leggen voor een intuïtieve visualisatie van het gedrag van  $Z_{2\%}$  functie voor golfloop. Deze informatie kan gebruikt worden voor de afhankelijkheid van de belasting parameters  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .

$Z_{2\%}$  is de golfloop hoogte die van 2% van het aantal inkomende golven wordt overschreden. In dit geval de kruin en het binnentalud hebben alleen klei met gras als beschermingsmaatregelen nodig. Daarom, in het verleden, was veel onderzoek gericht op het 2% golfloopniveau. Tegenwoordig, het dijk ontwerp is veranderd naar de toelaatbare golfoverslag in plaats van golfloop. Toch, een goede voorspelling van de golfloop is nog steeds waardevol, omdat het wordt gebruikt om golfoverslag debieten (volumes en snelheden) te berekenen.

In dit rapport, de golf voorwaarden zijn:

- Het waterniveau ( $h$ )
- De significante golfhoogte bij de teen van de dijk ( $H_{m0}$ )
- Golfperiode ( $T_p$  of  $T_{m-1,0}$ ).

De golfperiode ( $T_{m-1,0}$ ) wordt berekend uit de piekperiode ( $T_p$ ) met de relatie:

$$T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$$

Van (RWS-DWW, mei 2002), bladzijden 8 en 9, de algemene formule die kan worden toegepast voor golfoploop op dijken wordt gegeven door:

$$\frac{Z_{2\%\_ref}}{H_{m0}} = 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \quad (1)$$

Met een maximum voor grotere van:

$$\frac{Z_{2\%\_max}}{H_{m0}} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left( 4,3 - \frac{1,6}{\sqrt{\xi_0}} \right) \quad (2)$$

Dan:

$$Z_{2\%} = \min(Z_{2\%\_ref}, Z_{2\%\_max}) \quad (3)$$

Waarin:

Tabel 1.1 Symbolen

$Z_{2\%}$	2% golfoplooppniveau boven de stilwaterlijn	[ m ]
$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
$\gamma_b$	Invloedsfactor voor een berm	[ - ]
$\gamma_f$	Invloedsfactor voor ruwheid op het talud	[ - ]
$\gamma_\beta$	Invloedsfactor voor scheve golfaanval	[ - ]
$\xi_0$	Brekerparameter: $\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[ - ]
$\alpha$	Hoek van het talud	[ ° ]
$s_0$	Golfsteilheid: $s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[ - ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]
$g$	Versnelling van de zwaartekracht	[ m/s <sup>2</sup> ]

De formule is geldig in het gebied  $0,5 < \gamma_b \xi_0 < 8$  a  $10$ . Voor grotere waarden van  $\gamma_b \xi_0$ , aangepaste formules zijn nodig. Meer informatie is te vinden op (RWS-DWW, mei 2002), bladzijde 9.

De bovenstaande formules bevatten  $\varepsilon_0$ , die ook afhankelijk van de belasting parameters is. Deze memo geeft een gedetailleerd uitbreiding van de formules, zodat een meer intuïtief begrip van het effect van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  op het faalmechanisme formulering mogelijk is.

Samenvattend, op basis van de gedetailleerde berekeningen hieronder gegeven, de formule (3) kan geschreven worden als:

$$Z_{2\%} = \min \left( c_1 \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0}, c_2 \cdot H_{m0} - c_3 \cdot H_{m0} \cdot \sqrt[4]{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_{m-1,0}}} \right)$$

met  $c_1 = 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}}$  (3\*)

$$c_2 = 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta$$

$$c_3 = 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2\pi}{g}}$$

De gedetailleerde uitbreiding van de formules zijn hieronder te vinden.

## 1.1 Gedetailleerde berekeningen

$$\begin{aligned} Z_{2\%_{\text{ref}}} &= H_{m0} \cdot 1,75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \\ &= H_{m0} \cdot 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}} \\ &= 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot H_{m0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{2\pi H_{m0}}{g T_{m-1,0}^2}}} \\ &= 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot H_{m0} \cdot \frac{\sqrt{g T_{m-1,0}^2}}{\sqrt{2\pi H_{m0}}} \\ &= 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot H_{m0} \cdot \frac{1}{\sqrt{H_{m0}}} \cdot \sqrt{T_{m-1,0}^2} \\ &= 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0} \\ &= c_1 \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0} \end{aligned}$$

met  $c_1 = 1,75 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}}$

Met een maximum van:

$$\begin{aligned}
 Z_{2\%_{\max}} &= H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left( 4,3 - \frac{1,6}{\sqrt{\xi_0}} \right) \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} \cdot \frac{1,6}{\sqrt{\xi_0}} \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\xi_0}} \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}}} \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} \cdot \frac{\sqrt[4]{s_0}}{\sqrt{\tan \alpha}} \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot H_{m0} \cdot \sqrt[4]{\frac{2\pi H_{m0}}{g T_{m-1,0}^2}} \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2\pi}{g}} \cdot H_{m0} \cdot \sqrt[4]{\frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2}} \\
 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} - 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2\pi}{g}} \cdot H_{m0} \cdot \sqrt[4]{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_{m-1,0}}} \\
 &= c_2 \cdot H_{m0} - c_3 \cdot H_{m0} \cdot \sqrt[4]{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{T_{m-1,0}}} \\
 \text{met } c_2 &= 4,3 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \text{ en } c_3 = 1,6 \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2\pi}{g}}
 \end{aligned}$$

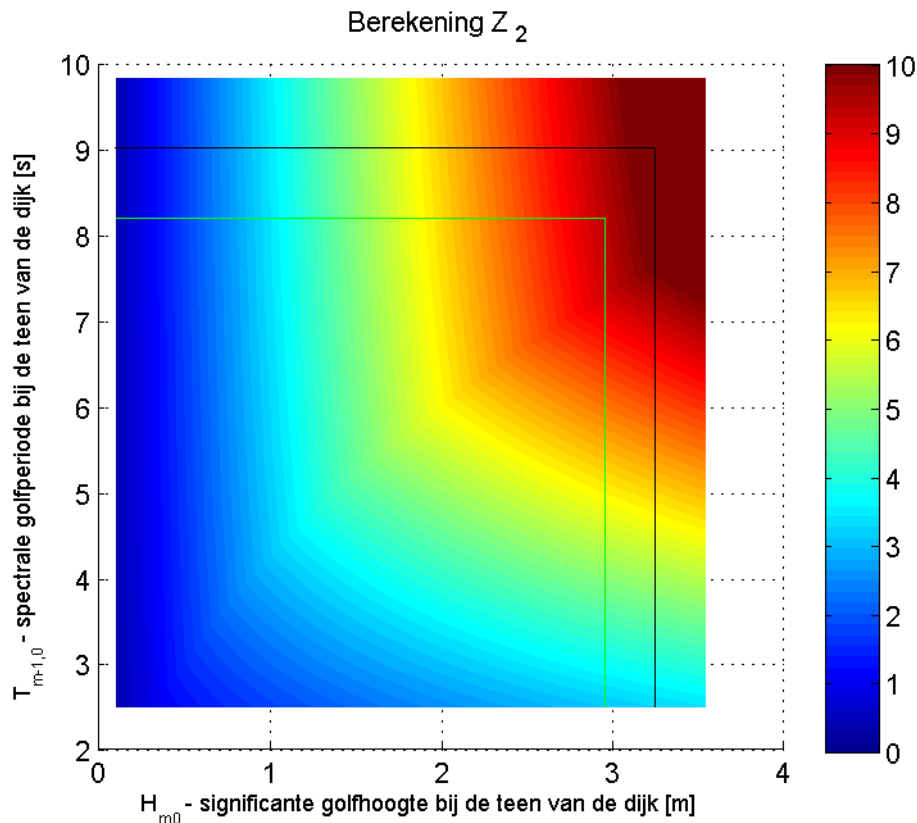
## 1.2 Visualisatie

Onder onderstaande veronderstellingen, kan de bovenstaande formules als volgt worden gevisualiseerd:

Tabel 1.2 Veronderstellingen

Symbol	Waarde
$\gamma_b$	1
$\gamma_f$	1
$\gamma_\beta$	1
$\tan \alpha$	1/3
$\pi$	3.1416
$g$	9.81

In het onderstaande beeld, de groene lijn geeft de  $Z_{2\%}$  waarde die overeenkomt met de maximale waarde van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  [Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen, 2005]. De zwarte lijn geeft de  $Z_{2\%}$  waarde als gevolg van een stijging van 10 procent van het maximum van beide  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .



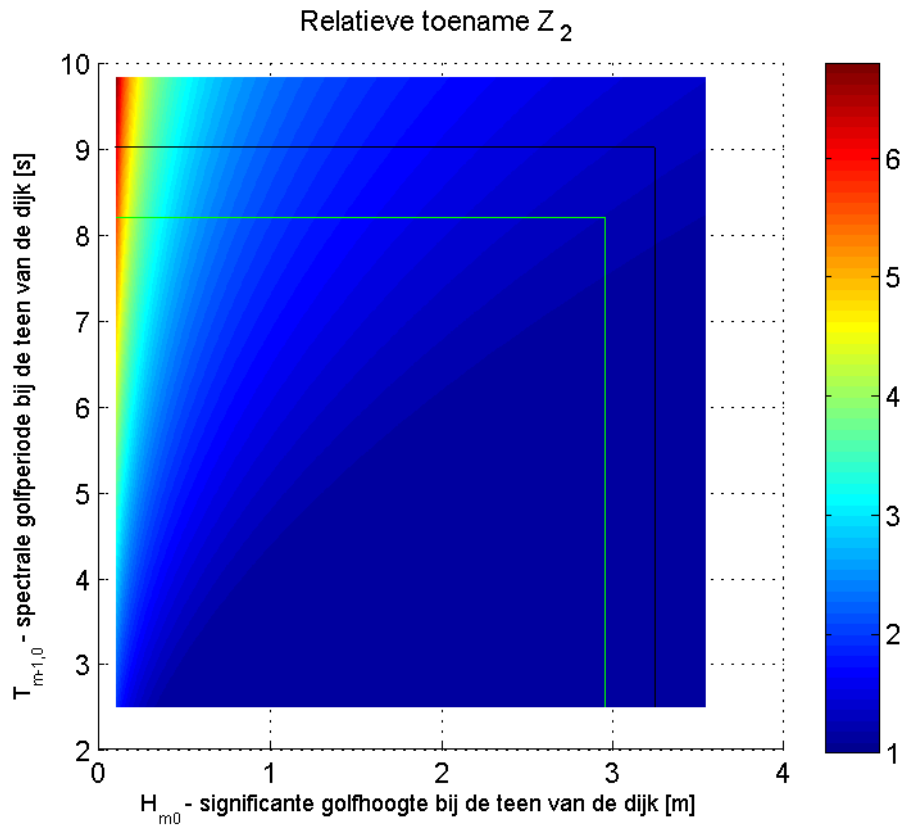
Figuur 1.2 Berekening  $Z_{2\%}$  voor golfoploop

Figuur 1.2 laat zien dat  $Z_{2\%}$  toeneemt met stijgende  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . Ook, het effect van  $H_{m0}$  hoger dan het effect van  $T_{m-1,0}$ .

Om de invloed van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  aan  $Z_{2\%}$  beter te kwantificeren, kunnen we de relatieve toename berekenen:

$$\text{Relatieve toename} = \frac{Z_{2\%}(H_{m0} + 10\% * H_{m0}, T_{m-1,0} + 10\% * T_{m-1,0})}{Z_{2\%}(H_{m0}, T_{m-1,0})}$$

Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 1.3.



Figuur 1.3 Relatieve toename  $Z_{2\%}$  voor golfoploop

Uit deze figuur kunnen we zien dat het verhogen van beide  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  met 10% resulteert in een relatieve toename  $Z_{2\%}$  van minimaal 1.1537 en maximaal 6.7867. Het maximaal effect is voor kleine waarden van  $H_{m0}$ , die resulteert in kleine waarden van  $Z_{2\%}$  (minder dan 1).

### 1.3 Bibliografie

*Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken. (2002).*

*Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken. (2002).*

*Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken. (2002).* Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

## Memo

**Aan**  
Annette Kieftenburg

**Datum**  
18 februari 2015

**Aantal pagina's**  
7

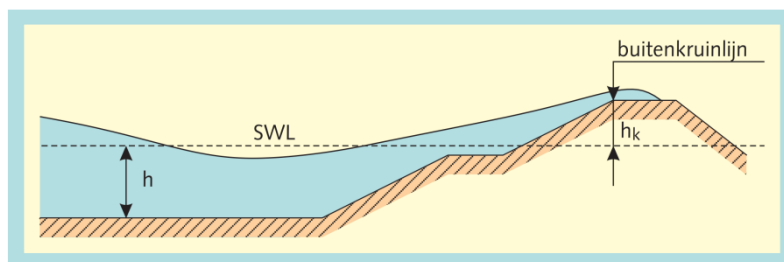
**Van**  
Dana Stuparu

**Doorkiesnummer**  
+31(0)88335 8046

**E-mail**  
dana.stuparu@deltares.nl

**Onderwerp**  
Algemene formule voor golfoverslag

### 1 Aanleiding



Figuur 1.1 De vrije kruinhoogte bij golfoverslag

Bij golfoverslag is de kruinhoogte lager dan de golfoplooppniveaus van de hoogste golven. De parameter die dan in beschouwing moet worden genomen is de vrije kruinhoogte  $h_k$  als in het bovenstaande figuur.

Dit is het hoogteverschil tussen de stilwaterlijn en de kruinhoogte. De kruinhoogte zelf kan gegeven zijn als de dijktafelhoogte  $h_d$  bepaald ten opzichte van bijvoorbeeld NAP.

De kruinhoogte wordt bepaald ter plaatse van de buitenkruinlijn (en dus niet in het midden van de kruin). De dijktafelhoogte verminderd met de gecorrigeerde waterstand (ook ten opzichte van NAP) geeft dan de vrije kruinhoogte  $h_k$ , ook wel de golfoverslaghoogte genoemd.

Golfoverslag wordt meestal gegeven als een gemiddeld debiet per strekkende meter breedte,  $q$ , bijvoorbeeld in  $m^3/m$  per  $s$  of in  $l/m$  per  $s$ .

De (Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 2 - Benedenrivierengebied, 1989) geeft aan dat voor relatief zware zeegang, met golven van enkele meters hoog, de gehanteerde 2%-golfoploop een golfoverslagdebiet oplevert in de orde van 1 l/m per s. Dit wordt ongeveer 0,1 l/m per s bij lage golven, zoals in het rivierengebied.

Gaat men ook in het rivierengebied uit van 1 l/m per s, dan levert dat een reductie op van de waakhogte, overigens met inachtneming van de minimale waakhogte van 0,50 m. De Leidraad zegt verder:

“Welk criterium van toepassing is, hangt uiteraard ook af van de constructie van de dijk en de eventuele bebouwing. In bepaalde gevallen, zoals bij verdedigde kruin en binnen belopen, kan soms 10 l/m per s worden aangehouden”. In de (Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken.

Deel 2 - Benedenrivierengebied, 1989) ] wordt uitgegaan dat de volgende gemiddelde debieten maatgevend zijn voor erosie van het binnentalud:

- 0,1 l/m per s voor zandige grond met een slechte grasmat.
- 1,0 l/m per s voor kleiige grond met een redelijk goede grasmat.
- 10 l/m per s bij een kleibekleding en een grasmat volgens de eisen voor het buitentalud of bij een bekledingsconstructie.

De golfoverslag kan in twee formules worden beschreven die op elkaar aansluiten. Eén voor brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 \approx 2$ ), waarbij de golfoverslag toeneemt bij de toenemende brekerparameter  $\xi_0$  en één voor het maximum dat wordt bereikt bij niet-brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 \approx 2$ ). De volledige formules zijn:

- Voor brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 \approx 2$ ):

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \quad (1)$$

- Voor niet brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 \approx 2$ ):

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad (2)$$

Tabel 1.1 Symbolen

$q$	gemiddeld golfoverslagdebiet	[ l/m per s ]
$H_{m0}$	Significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[ m ]
$\gamma_b$	Invloedsfactor voor een berm	[ - ]
$\gamma_f$	Invloedsfactor voor ruwheid op het talud	[ - ]
$\gamma_\beta$	Invloedsfactor voor scheve golfaanval	[ - ]
$\gamma_v$	Invloedsfactor voor een verticale wand op het talud	[ - ]
$h_k$	vrije kruinhoogte boven de stilwaterlijn	[ m ]
$\xi_0$	Brekerparameter $\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[ - ]
$\alpha$	Hoek van het talud	[ ° ]
$s_0$	Golfsteilheid: $s_0 = \frac{2\pi H_{m0}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	[ - ]
$T_{m-1,0}$	Spectrale golfperiode	[ s ]
$T_p$	Piekperiode: $T_p = 1,1 \cdot T_{m-1,0}$	[ s ]
$g$	Versnelling van de zwaartekracht	[ m/s <sup>2</sup> ]



## 1.1 Gedetailleerde berekeningen

De gedetailleerde uitbreiding van de formule voor brekende golven zijn als volgt:

$$\begin{aligned} \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} &= \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} \cdot \frac{\sqrt{\tan \alpha}}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\xi_0} &= \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} \cdot \frac{\sqrt{\tan \alpha}}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{\sqrt{s_0}}{\tan \alpha} &= \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{\sqrt{s_0}}{\tan \alpha} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} \cdot \frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{\sqrt{2\pi H_{m0}}}{\sqrt{gT_{m-1,0}^2}} &= \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi H_{m0}}}{\tan \alpha} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} \cdot \frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \cdot \sqrt{\frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2}} &= \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \cdot \sqrt{\frac{H_{m0}}{T_{m-1,0}^2}} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \cdot \frac{q}{\sqrt{g}} \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot \sqrt{H_{m0}}} \cdot \frac{\sqrt{H_{m0}}}{T_{m-1,0}} &= \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \cdot \frac{\sqrt{H_{m0}}}{T_{m-1,0}} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{g} \cdot q \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot T_{m-1,0}} &= \exp\left(-4.3 \cdot \frac{h_k}{\sqrt{H_{m0}}} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \cdot \frac{1}{T_{m-1,0}} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right) \Leftrightarrow \\ \ln\left(\frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{g} \cdot q \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot T_{m-1,0}}\right) &= -4.3 \cdot \frac{h_k}{\sqrt{H_{m0}}} \cdot \frac{1}{\tan \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{g}} \cdot \frac{1}{T_{m-1,0}} \cdot \frac{1}{\gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \Leftrightarrow \\ h_k &= -\frac{1}{4.3} \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot T_{m-1,0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v \cdot \ln\left(\frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{g} \cdot q \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot T_{m-1,0}}\right) \Leftrightarrow \\ h_k &= -\frac{1}{4.3} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0} \cdot \ln\left(\frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{g} \cdot q \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot T_{m-1,0}}\right) \Leftrightarrow \\ h_k &= c_1 \cdot \sqrt{H_{m0}} \cdot T_{m-1,0} \cdot \ln\left(c_2 \cdot \frac{1}{H_{m0} \cdot T_{m-1,0}}\right) \Leftrightarrow \\ \text{met } c_1 &= -\frac{1}{4.3} \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\frac{g}{2\pi}} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v \text{ en } c_2 = \frac{1}{0.067} \cdot \frac{1}{\gamma_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \frac{\sqrt{2\pi}}{g} \cdot q \end{aligned}$$

En voor niet brekende golven:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \Leftrightarrow$$

$$\frac{1}{0.2} \cdot \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \exp\left(-2.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \Leftrightarrow$$

$$\ln\left(\frac{1}{0.2} \cdot \frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}\right) = -2.3 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta} \Leftrightarrow$$

$$h_k = -\frac{1}{2.3} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} \cdot \ln\left(\frac{1}{0.2} \cdot \frac{q}{\sqrt{g}} \cdot \frac{1}{\sqrt{H_{m0}^3}}\right) \Leftrightarrow$$

$$h_k = c_3 \cdot H_{m0} \cdot \ln\left(c_4 \cdot \frac{1}{\sqrt{H_{m0}^3}}\right) \Leftrightarrow$$

met  $c_3 = -\frac{1}{2.3} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta$  en  $c_4 = \frac{1}{0.2} \cdot \frac{q}{\sqrt{g}}$

## 1.2 Visualisatie

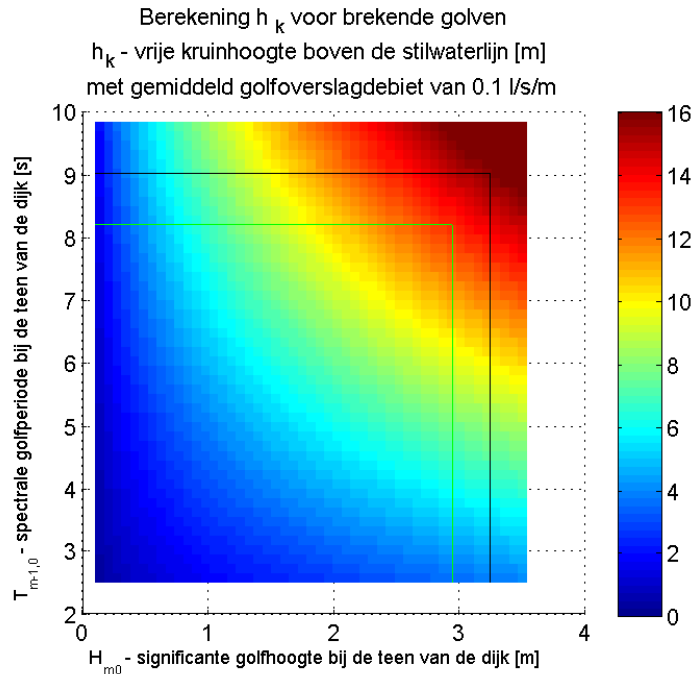
Onder de onderstaande veronderstellingen, kunnen de bovenstaande formules als volgt worden gevisualiseerd:

Tabel 1.2 Veronderstellingen

Symbool	Waarde
$\gamma_b$	1
$\gamma_f$	1
$\gamma_\beta$	1
$\gamma_v$	1
$\tan \alpha$	1/3
$\pi$	3.1416
$g$	9.81
$q$	0.0001

In het onderstaande figuur, de groene lijn geeft de  $h_k$  waarde die overeenkomt met de maximale waarde van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ . De zwarte lijn geeft de  $h_k$  waarde als gevolg van een stijging van 10% van het maximum van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$ .

## 1.2.1 Brekende golven

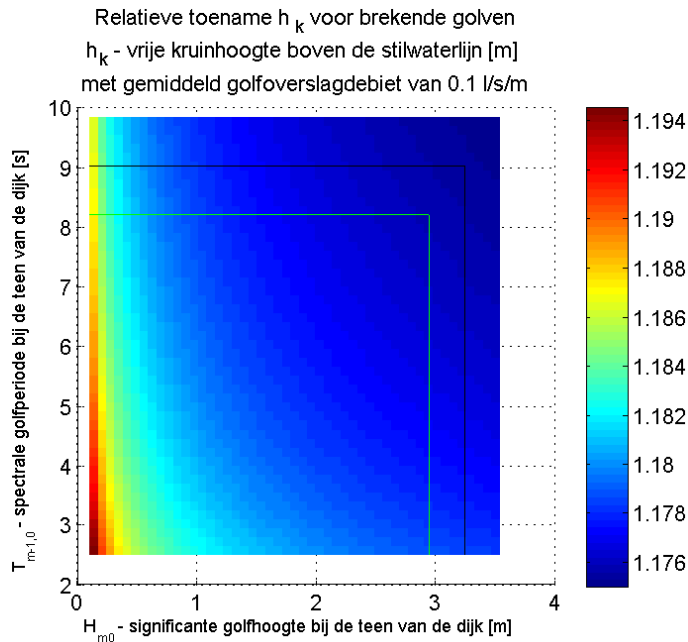


*Figuur 1.2*  $h_k$  voor brekende golven

Om de invloed van  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  aan  $Z$  beter te kwantificeren, kunnen we de relatieve toename berekenen:

$$\text{Relatieve toename} = \frac{Z(H_{m0} + 10\% * H_{m0}, T_{m-1,0} + 10\% * T_{m-1,0})}{Z(H_{m0}, T_{m-1,0})}$$

Dit wordt ook geïllustreerd in Figuur 1.3

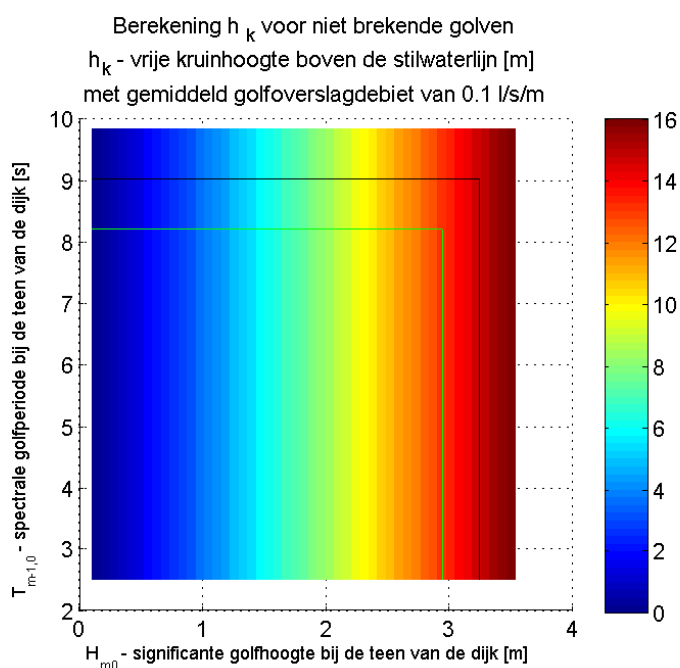


Figuur 1.3 Relatieve toename voor  $h_k$  (breekende golven)

Hiervan kunnen we zien dat wanneer beide  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  worden verhoogd met 10 procent resulteert altijd in een relatieve toename van  $h_k$  die ligt tussen [1.1750, 1.1945].

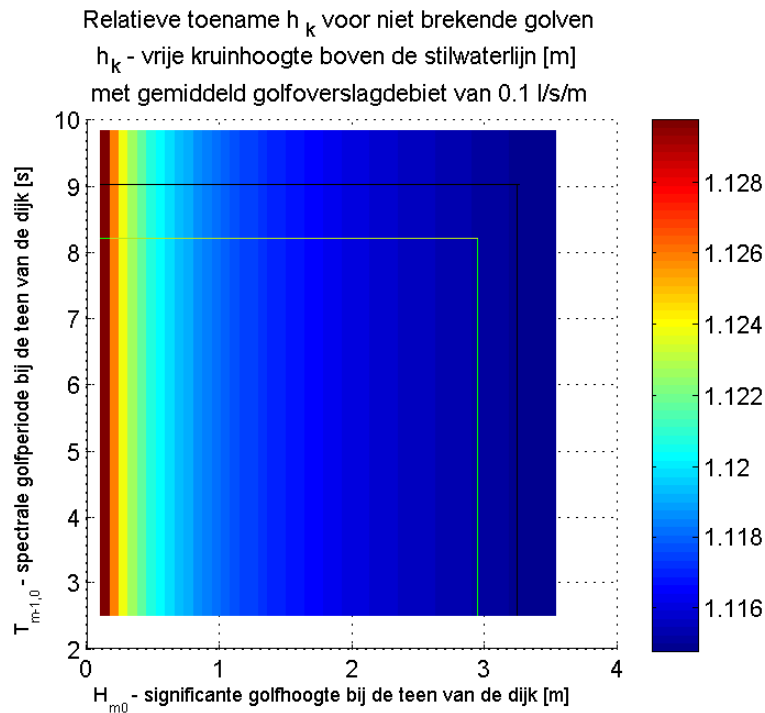
## 1.2.2 Niet brekende golven

Voor niet brekende golven,  $T_{m-1,0}$  heeft geen invloed in de berekening van  $h_k$  (zie Figuur 1.4)



Figuur 1.4  $h_k$  voor niet brekende golven

Ook, de verhoging van 10% voor  $H_{m0}$  en  $T_{m-1,0}$  altijd resulteert in een relatieve  $h_k$  toename tussen [1.1148, 1.1297]. (zie Figuur 1.5)



Figuur 1.5 Relatieve toename voor  $h_k$ , (niet brekende golven)

### 1.3 Bibliografie

*Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken. Deel 2 - Benedenrivierengebied.* (1989).

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

*Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij dijken.* (2002). Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.



## H Bijlage: Voorbeeld advies

Detailadvies Suzannapolder, havendam St. Anna

Aan : Annette Kieftenburg (RWS)  
 Van : Pol van de Rest (Svašek)  
 Tweede lezer : Maarten Jansen (Svašek)  
 Datum : 20 november 2009  
 Betreft : RKZ-1906.013\_H\_ Suzannapolder, havendam St. Anna  
 Status : Definitief  
 Ref. Svašek : PvdR/1463/08366/H

**Let op: Dit detailadvies heeft een overlap met het eerder uitgebrachte detailadvies Joanna Mariapolder (2007.09.60) [ref 9] dat zal worden vervangen door 1906.017 [ref 15]. De randvoorwaarden voor het overlappende deel dijkvak 122b zijn gelijk aan het eerder afgegeven advies [ref 9]. De randvoorwaarden in de haven van St Annaland in dit advies zijn echter niet gelijk aan de eerder afgegeven advies [ref.9], welke dienen te worden vervangen met de waarden in dit advies. Daarnaast is er een overlap met het detailadvies Moggershilpolder, Anna Vosdijkpolder [ref 16]. De randvoorwaarden van het overlappende deel (dijkvak 121) zijn overeenkomstig het andere advies [ref 16].**

In dit detailadvies zijn de golfcondities beschreven voor de Suzannapolder, havendam St. Anna, , welke betrekking heeft op het traject vanaf dijkkilometer 77.60 tot 80.65. Het ontwerp tracé loopt van dijkkilometer 77.90 tot 80.30. Het detailadvies is opgebouwd uit twee delen: het samenvattende advies (ontwerpwaarden) en de bijlagen (aanpak en resultaten). Voor achtergrondinformatie bij het detailadvies wordt verwezen naar [ref. 5 en 6]. Bij het detailadvies hoort ook een excel-spreadsheet met randvoorwaarden, waarin de randvoorwaarden overeenkomstig dit advies zijn opgenomen [ref.7]. Tabel 1 geeft de dijkvaknummering coördinaten en dijkkilometrerings (zie ook [ref. 14]).

Tabel 1: Beschouwde dijkvakken

Dijk- vak no.	Dijkvakscheidings- coördinaten tov Parijs (m)				Dijk kilometrerings (km)		Poldernaam
	van		tot		van	tot	
	x	y	x	y			
121	64332	403480	66016	403088	80,65	78,85	Anna Vosdijkpolder / Suzannapolder
122a	66016	403088	66101	402979	78,85	78,70	Suzannapolder / Joanna Mariapolder
122b*	66101	402979	<b>66598</b>	<b>402369</b>	78,70	<b>77,60</b>	Suzannapolder / Joanna Mariapolder

\* zie vetgedrukte tekst bij aandachtspunten (pagina 2)

**Tabel 2: Maatgevende belastingcombinatie ( $H_s \cdot T_{pm}$ ) voor steenbekledingen**

Dijk- vak no.	Hs [m]				Tpm [s]				Waterdiepte (m)				Windrichting (°) nautisch			
	bij waterstand t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
121	0,8	1,2	1,3	1,6	3,1	3,9	4,6	5,1	9,2	4,6	4,1	5,1	300	285	270	270
122a	0,8	1,1	1,2	1,3	3,2	3,9	4,2	4,7	10,3	12,3	13,3	14,3	300	300	300	285
122b	0,8	1,0	1,1	1,1	3,1	3,4	3,6	3,7	8,9	10,9	11,9	12,9	300	315	315	315

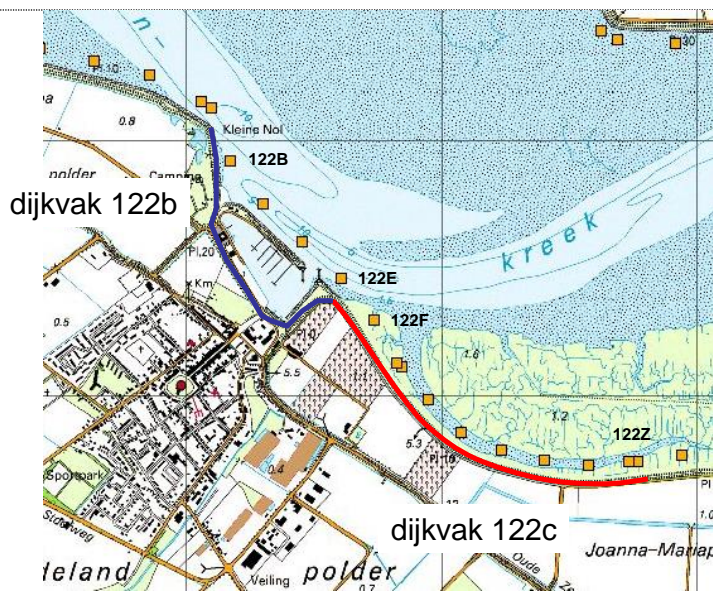
**Aandachtspunten:**

- Geldigheid Tabel 2:** De in Tabel 2 opgenomen golfcondities zijn gebaseerd op belastingfunctie  $Z1=H_s \cdot T_{pm}$  en zijn alleen geldig voor het mechanisme stabiliteit van steenbekledingen (betonzuilen). De maatgevende belastingfunctie is onafhankelijk van de dichtheid van de toplaag. Deze belastingfunctie is bij het ontwerp voor steenbekledingen (betonzuilen) in ieder geval maatgevend indien (**brekerparameter op basis van Tpm**):

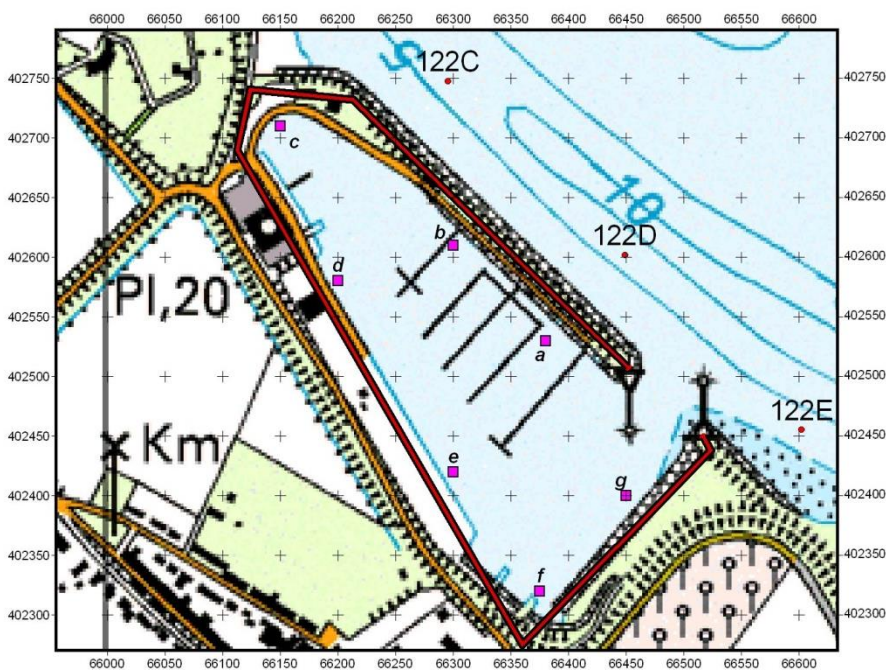
  - de taludhelling steiler dan 1:3,2
  - dikte toplaag D tussen 0,30 m en 0,50 m
  - dikte bovenste filterlaag tussen 0,05 m en 0,15 m en D15 tussen 0,01 m en 0,02 m, porositeit 0,35

Indien het ontwerp buiten dit bereik valt, dient het ontwerp voor alle 3 de tabellen (Tabel 6.1 t/m 6.3) door gerekend te worden. Mogelijk wordt dan namelijk een andere belastingfunctie maatgevend, waardoor de maatgevende golfcondities kunnen veranderen.
- Voor het mechanisme afschuiving is  $Z2=H_s \cdot T_{pm} \cdot T_{pm}$  (zie Tabel 6.2) maatgevend en voor (gekantelde) blokken, asfaltbekledingen en kleidijken is belastingfunctie  $Z3=H_s \cdot H_s \cdot T_{pm}$  (zie Tabel 6.3) maatgevend [ref 8].
- Er is een overlap met het detailadvies Joanna Mariapolder, opdracht 2007.09.60, d.d. 23 oktober 2007 [ref 9], waarin de dijkvakken 122b t/m 122c zijn beschouwd. De randvoorwaarden voor het overlappende deel, dijkvak 122b, zijn gelijk aan het eerder afgegeven advies [ref 9]. De randvoorwaarden in de haven van St Annaland in dit advies zijn echter niet gelijk aan de eerder afgegeven advies [ref.9]. Deze dienen te worden vervangen met de waarden in dit advies, welke overeenkomstig RKZ-1906.017 zijn [ref 15]. Daarnaast is er een overlap met het detailadvies Moggershilpolder, Anna Vosdijkpolder [ref 16]. De randvoorwaarden van het overlappende deel (dijkvak 121) zijn overeenkomstig het andere advies [ref 16].
- Bij dijkvak 121 bij belastingfunctie  $Z2=H_s \cdot T_{pm} \cdot T_{pm}$  is de golfperiode bij NAP +2m hoger dan bij NAP +3m (zie oranje arcering in Tabel 6.2).
- In het eerder afgegeven advies Joana Mariapolder (2007.09.60) is besloten dijkvak 122b op te splitsen ter plaatse van dijkkilometer 77.6 in dijkvak 122b en 122c (zie Figuur 1). Dezelfde opsplitsing zal in dit advies worden aangehouden, waardoor alleen de golfcondities van het 'nieuwe' dijkvak 122b in het advies beschreven worden. Het westelijk deel van dit traject ligt aan diep water, namelijk de Krabbenkreek. Voor het oostelijk deel van dit traject ligt een schor dat een dusdanige hoogte heeft dat alleen de lage schordelen met hoogwater overstroomt. Door het lage en hoge voorland verschilt het golfklimaat voor deze delen en volgen wij het advies 2007.09.60 [ref 9] en de revisie hiervan RKZ-1906.017 [ref 15] door voor het westelijke en oostelijke deel verschillende golfrandvoorwaarden af te geven.
- Voor dijkvak 122b ligt een haven. Het projectbureau Zeeweringen overweegt om ook aan de binnenkant van de haven de bestaande bekledingen en kadewerken te versterken, en heeft daarom gevraagd om de golfcondities van de buitenkant te vertalen naar de binnenkant van de haven. Deze worden afgegeven op de punten a t/m g (zie figuur 2). In de Tabellen 3 en 4.1 t/m 4.3 zijn de golfcondities gegeven van achtereenvolgens de havenmond en de haven (zie ook Bijlage 2). **Let op: Deze golfcondities zijn alleen te gebruiken als de voorliggende havendammen de 1/4000 jr golfcondities kunnen weerstaan. De golfcondities in de havenmonding in tabel 3 wijken af van die uit advies 2007.09.60 [ref 9], maar stemmen wel overeen met de condities uit de revisie memo RKZ-1906 .017 [ref 15].**





Figuur 1: Dijkvak 122b opgesplitst in dijkvakken 122b en 122c



Figuur 2: Uitvoerpunten en schematisatie haven

**Tabel 3: Golfcondities in de havenmondning**

Wind	Hs				Tpm				Dir				Dir mean
	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4	
30	0.54	0.82	0.88	0.94	2.09	2.85	3.01	3.17	29	27	26	25	27
60	0.57	0.84	0.91	0.97	2.27	2.92	3.10	3.28	71	64	67	70	68
90	0.56	0.82	0.88	0.94	2.32	2.99	3.19	3.39	91	86	87	88	88
120	0.51	0.68	0.72	0.77	2.24	2.75	2.91	3.06	106	103	102	101	103
150	0.43	0.55	0.57	0.60	2.00	2.53	2.62	2.71	125	121	121	120	122
180	0.36	0.43	0.44	0.45	1.76	2.21	2.27	2.34	148	140	141	142	143
210	0.30	0.32	0.33	0.34	1.54	2.56	3.94	5.34	180	176	173	170	175
240	0.36	0.39	0.43	0.46	1.62	3.07	4.25	5.45	268	280	289	298	284
270	0.61	0.67	0.71	0.75	2.63	3.16	3.62	4.08	307	309	312	315	311
285	0.72	0.79	0.85	0.91	2.94	3.33	3.60	3.88	315	317	320	322	319
300	0.79	0.91	0.99	1.07	3.06	3.38	3.63	3.88	321	323	326	329	325
315	0.79	0.95	1.04	1.12	3.01	3.33	3.57	3.80	326	330	333	335	331
330	0.76	0.96	1.02	1.09	2.92	3.27	3.45	3.63	331	338	339	340	337
360	0.65	0.92	0.99	1.06	2.49	3.08	3.28	3.49	348	357	356	355	354

Hs = Significante golfhoogte [m], Tpm = gemiddelde piekperiode [s], Dir = golfrichting [nautische graden]

**Tabel 4: Golfcondities in de haven (zie voor ligging van de uitvoerpunten a t m g Figuur 2, onderdeel van dijkvak 122b).**

**Tabel 4.1: Golfcondities met gewicht Hs en Tpm volgens verhouding Hs\*Tpm**

Uitvoerpunt / Dijkvak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP				Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP				Maatgevende windrichting (°) nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
a	0,4	0,4	0,5	0,5	3,1	3,4	3,2	3,4	300	300	90	90
b	0,3	0,3	0,3	0,4	3,1	3,4	3,6	3,9	300	300	270	300
c	0,3	0,3	0,3	0,3	2,5	3,0	3,2	3,6	120	90	90	330
d	0,3	0,4	0,4	0,4	2,5	3,0	3,2	3,4	90	90	90	90
e	0,4	0,5	0,5	0,6	2,5	2,9	3,2	3,3	60	60	90	60
f	0,4	0,4	0,5	0,6	2,9	3,3	3,0	3,2	330	330	30	30
g	0,4	0,7	0,7	0,7	3,1	2,9	3,0	3,2	300	30	30	30

**Tabel 4.2: Golfcondities me gewicht Hs en Tpm volgens verhouding Hs\*Tpm\*Tpm**

Uitvoerpunt / Dijkvak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP				Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP				Maatgevende windrichting (°) nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
a	0,4	0,4	0,4	0,4	3,1	3,4	3,6	4,1	300	300	300	270
b	0,3	0,3	0,3	0,4	3,1	3,4	3,6	3,9	300	300	270	300
c	0,3	0,3	0,3	0,3	2,5	3,0	3,2	3,6	120	90	90	330
d	0,3	0,4	0,4	0,4	2,9	3,0	3,2	3,4	330	90	90	90
e	0,3	0,5	0,5	0,6	2,9	2,9	3,2	3,3	330	60	90	60
f	0,4	0,4	0,4	0,5	2,9	3,3	3,5	3,6	330	330	330	330
g	0,4	0,7	0,6	0,5	3,1	2,9	3,3	3,9	300	30	360	300

Tabel 4.3: Golfcondities met gewicht  $H_s$  en  $T_{pm}$  volgens verhouding  $H_s \cdot H_s \cdot T_{pm}$ 

Uitvoerpunt / Dijkvak	Hs [m]				Tpm [s]				Maatgevende windrichting (°)			
	bij waterstand t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP				nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			
no.	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
a	0,4	0,4	0,5	0,5	3,1	3,4	3,2	3,4	300	300	90	90
b	0,3	0,3	0,3	0,4	3,1	3,4	3,6	3,9	300	300	270	300
c	0,3	0,3	0,3	0,3	2,5	3,0	3,2	3,6	120	90	90	330
d	0,3	0,4	0,4	0,4	2,5	3,0	3,2	3,4	90	90	90	90
e	0,4	0,5	0,5	0,6	2,5	2,9	3,2	3,3	60	60	90	60
f	0,4	0,4	0,5	0,6	2,9	3,3	3,0	3,2	330	330	30	30
g	0,4	0,7	0,7	0,7	3,1	2,9	3,0	3,2	300	30	30	30

**Opmerking:**

Indien de berekende  $H_s \leq 0,3$  m en/of  $T_{pm} \leq 2,5$  s zijn, zijn de betreffende golfcondities verhoogd naar  $H_s = 0,3$  m en/of  $T_{pm} = 2,5$  s (zie blauwe arcering in de Tabellen 4.1 t/m 4.3), omdat de berekende golfcondities in die situaties mogelijk een onderschatting geven van de werkelijke optredende golfcondities [ref 10].

Tabel 5: Waterstanden en ontwerppeilen [ref 4]

Dijk- vak	Ontwerppeil [m] tov NAP	GHW [m] tov NAP	GLW [m] tov. NAP	Springtij		Doodtij	
				HW [m] tov NAP	LW [m] tov. NAP	HW [m] tov NAP	LW [m] tov. NAP
121	3,7	1,60	-1,40	1,80	-1,45	1,35	-1,25
122a	3,7	1,60	-1,40	1,85	-1,45	1,35	-1,25
122b	3,7	1,65	-1,40	1,85	-1,45	1,35	-1,25

Figuur 3: Dijkvakken 121 t/m 122b



## **Bijlagen: Aanpak en resultaten detailadvies**

## 1 Ligging dijkvakken

Dit detailadvies heeft betrekking op de dijkvakken 121 t/m 122b (zie Figuur 3). De dijkvakken liggen op Tholen (oostzijde van de Oosterschelde), vlakbij het dorp Sint Annaland. Het ontwerptraacé loopt van dijkpaal 77.90 tot 80.30. Dijkpaal 77.90 ligt in dijkvak 122b en dijkpaal 80.30 in dijkvak 121. Dit advies komt dus overeen met een iets ruimer traject.

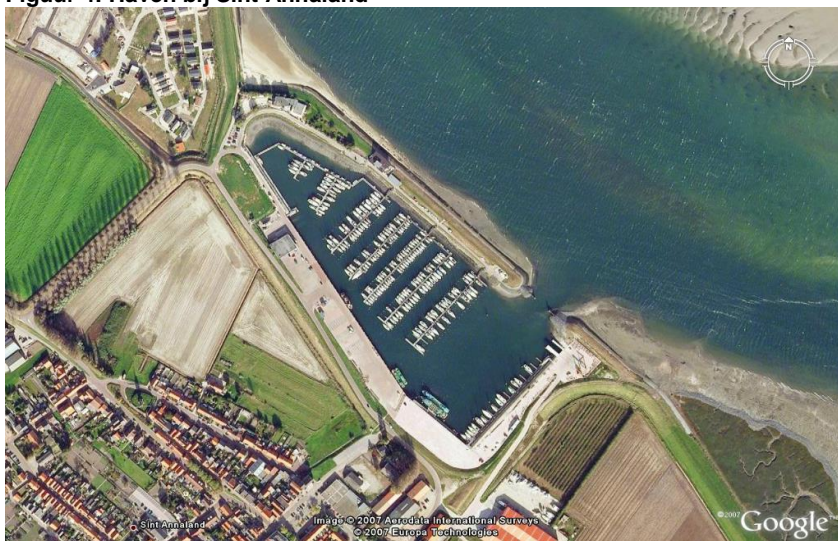
Er is een overlap aan de oostzijde van het traject met het detailadvies Joanna Mariapolder, opdracht 2007.09.60 [ref 9], waarin de dijkvakken 122b t/m 122c zijn beschouwd. De randvoorwaarden voor het overlappende deel dijkvak 122b zijn gelijk aan het eerder afgegeven advies [ref 9]. De randvoorwaarden in de haven van St Annaland in dit advies zijn echter niet gelijk aan de eerder afgegeven advies [ref.9]. De randvoorwaarden worden vervangen met de waarden in dit advies, welke randvoorwaarden overeenkomstig de revisie RKZ-1906.017 zijn [ref 15]. Daarnaast is er een overlap met het detailadvies Moggershilpolder, Anna Vosdijkpolder [ref 16]. De randvoorwaarden van het overlappende deel (dijkvak 121) zijn overeenkomstig het andere advies [ref 16].

## 2 Situatiebeschrijving

Langs het traject zijn enkele bijzondere objecten te onderscheiden (van zuid naar noord):

- **Havendammen:** Ten oosten van Sint Annaland ligt een haven met twee havendammen (zie Figuur 4). Het projectbureau Zeeweringen overweegt om aan de binnenkant van de haven de bestaande bekledingen en kadewerken te versterken, en heeft daarom gevraagd om de golfcondities van de buitenkant te vertalen naar de binnenkant van de haven. De golfcondities in de havenmonding en de haven zijn beschreven in Bijlage 2. De golfcondities in Bijlage 2 gelden alleen als de voorliggende havendammen bestand zijn tegen de 1/4000 jr golfcondities. Is dit niet het geval dan moeten de randvoorwaarden aan buitenzijde van de haven worden gebruikt in de haven.
- **Slikken:** Voor dijkvak 121 bevinden zich slikken. Reductie van de golfcondities door de slikken is meegenomen.

Figuur 4: Haven bij Sint Annaland



- **Opsplitsen dijkvak 122b:** Het westelijk deel van het oorspronkelijke dijkvak 122b ligt aan diep water, namelijk de Krabbenkreek. Voor het oostelijk deel ligt een schor dat een dusdanige hoogte heeft dat alleen de lage schordelen met hoogwater overstroomd. Door het lage en hoge

voorland verschilt het golfklimaat voor deze delen en adviseren wij voor het westelijk en oostelijk deel verschillende golfrandvoorwaarden te gebruiken. Dit houdt in dat het oorspronkelijke dijkvak 122b oostelijk van de jachthaven, ter plaatse van dijkkilometer 77.6 wordt opgesplitst in dijkvak 122b en 122c (zie Figuur 1). Voor de bepaling van de golfcondities van dijkvak 122b zijn de WindWater uitvoerpunten 122b t/m 122e gebruikt en voor dijkvak 122c de uitvoerpunten 122f t/m 122z.

### 3 Golfcondities

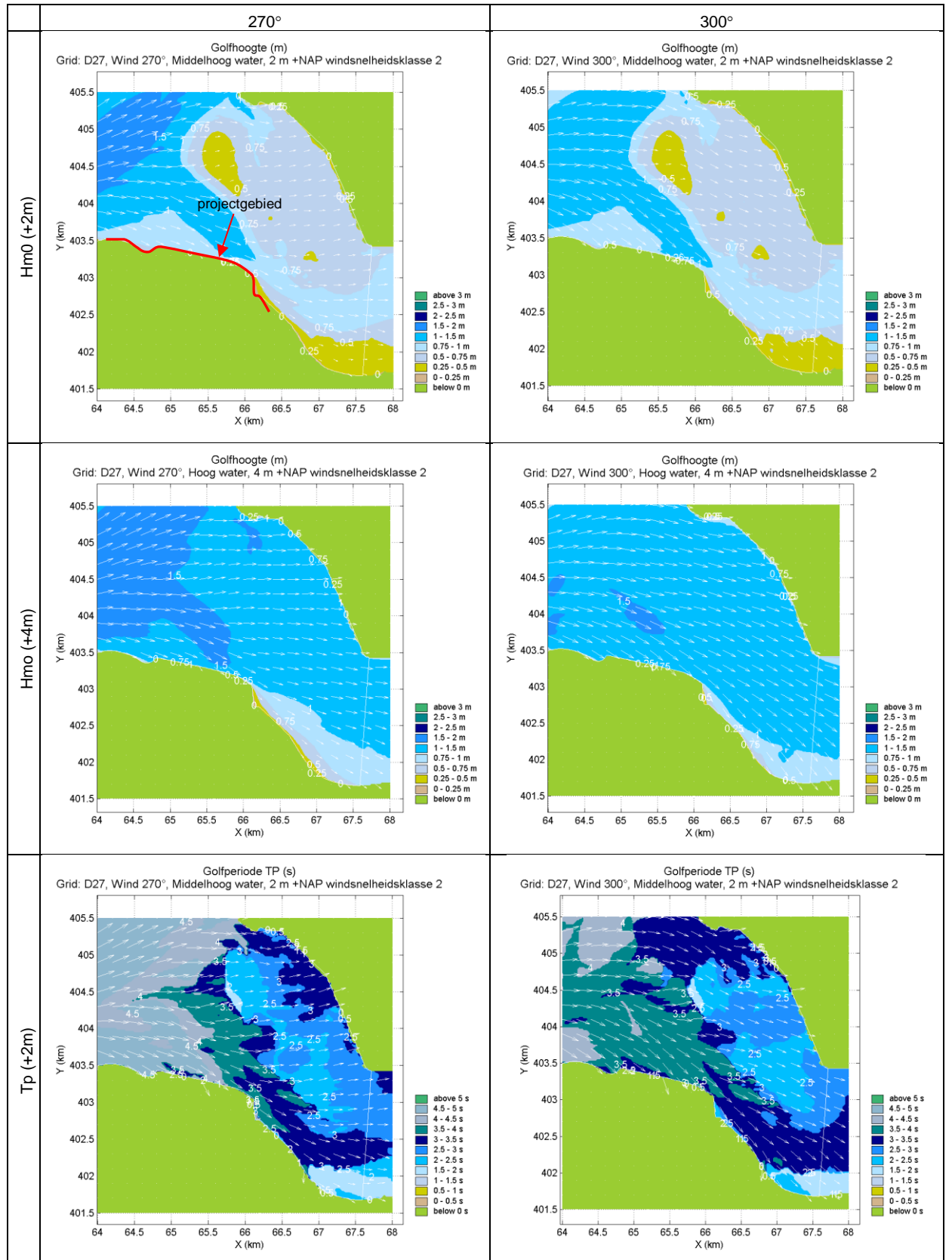
De golven worden in het westelijke deel en het middendeel van de Oosterschelde opgewekt en bereiken via de geulen "Keeten" en "Mastgat" de betreffende dijkvakken. Voor alle dijkvakken geldt dat de hoek van inval groot is en de golven flink bij moeten draaien voordat ze de teen van de dijk bereiken.

De dijkvakken in het beschouwde traject worden het zwaarst belast door golven uit (noord-) westelijke windrichtingen, namelijk tussen de 270 en 330 graden (zie tabellen 6.1 t/m 6.3). Uitzondering hierop is dijkvak 121 bij belastingfunctie Z2 bij een waterstand van NAP +2m, waarvoor 240 graden de maatgevende windrichting is.

Figuur 5 toont het met SWAN berekende golfveld (zonder enige correcties) voor de windrichtingen 270° en 300°. De golfhoogte is weergegeven bij de waterstanden NAP+2m en NAP+4m en de golfperiode bij de waterstand NAP+2m. Het dijktraject is in het eerste figuur met rood aangegeven.

De resultaten van "Golfberekeningen Oosterschelde, Rapport RIKZ/2001.006" [ref 1], vormen de basis voor de golfbelastingen. Deze zijn naar aanleiding van nieuwe inzichten op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering, herzien in 2005 [ref 2]. De op basis van het rapport H4576 [ref 3] aangescherpte correctiefactoren, welke dienen ter compensatie van de door SWAN gemaakte fout, zijn voor alle waterstanden (zowel bij open als gesloten kering) toegepast bij de bepaling van de golfcondities. De tabellen 6.1 t/m 6.3 bevatten de waarden van de golfcondities na al deze correcties.

**Figuur 5: SWAN resultaten (fijn rooster) voor  $H_{m0}$  (m) en  $T_p$  voor de windrichtingen van 270° en 300°. NB. Piekperiode  $T_p$  in plaats van  $T_{pm}$ .**





**Tabel 6.1 Gecorrigeerde golfcondities met gewicht Hs en Tpm volgens verhouding Hs\*Tpm**

Dijk- vak no.	Hs [m]				Tpm [s]				Waterdiepte (m)				Windrichting (°)			
	bij waterstand				bij waterstand				bij waterstand				nautisch			
	t.o.v. NAP				t.o.v. NAP				t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
121	0,8	1,2	1,3	1,6	3,1	3,9	4,6	5,1	9,2	4,6	4,1	5,1	300	285	270	270
122a	0,8	1,1	1,2	1,3	3,2	3,9	4,2	4,7	10,3	12,3	13,3	14,3	300	300	300	285
122b	0,8	1,0	1,1	1,1	3,1	3,4	3,6	3,7	8,9	10,9	11,9	12,9	300	315	315	315

**Tabel 6.2 Gecorrigeerde golfcondities met gewicht Hs en Tpm volgens verhouding Hs\*Tpm\*Tpm**

Dijk- vak no.	Hs [m]				Tpm [s]				Waterdiepte (m)				Windrichting (°)			
	bij waterstand				bij waterstand				bij waterstand				nautisch			
	t.o.v. NAP				t.o.v. NAP				t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
121	0,8	0,8	1,3	1,6	3,2	4,9	4,7	5,1	9,2	3,1	4,1	5,1	300	240	270	270
122a	0,8	1,1	1,2	1,3	3,2	3,9	4,4	5,0	10,3	12,3	13,3	14,3	300	300	285	270
122b	0,8	1,0	1,1	1,1	3,1	3,4	3,6	3,7	8,9	10,9	11,9	12,9	300	315	315	315

**Tabel 6.3 Gecorrigeerde golfcondities met gewicht Hs en Tpm volgens verhouding Hs\*Hs\*Tpm**

Dijk- vak no.	Hs [m]				Tpm [s]				Waterdiepte (m)				Windrichting (°)			
	bij waterstand				bij waterstand				bij waterstand				nautisch			
	t.o.v. NAP				t.o.v. NAP				t.o.v. NAP				bij waterstand t.o.v. NAP			
	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m	+0m	+2m	+3m	+4m
121	0,8	1,2	1,4	1,6	3,1	3,8	4,4	5,1	9,2	4,6	5,6	5,1	300	300	285	270
122a	0,8	1,1	1,2	1,4	3,2	3,9	4,2	4,4	10,3	12,3	13,3	14,3	300	300	300	300
122b	0,8	1,0	1,1	1,1	3,1	3,3	3,6	3,7	8,9	10,9	11,9	12,9	300	330	315	315

De tabellen 6.1 t/m 6.3 tonen de maatgevende golfcondities, gebaseerd op  $H_s * T_{pm}$ ,  $H_s * T_{pm}^2$  en  $H_s^2 * T_{pm}$ . Tabel 6.1 is maatgevend voor het mechanisme stabiliteit steenbekledingen (betonzuilen) voor taludhellingen steiler dan 1:3,2 voor de op pagina 2 gegeven uitgangspunten. Indien het ontwerp buiten dit bereik valt, dient het ontwerp voor alle 3 de tabellen door gerekend te worden. Voor het mechanisme afschuiving is  $Z2 = H_s * T_{pm} * T_{pm}$  (zie Tabel 6.2) maatgevend en voor (gekantelde) blokken, asfaltbekledingen en kleidijken is belastingfunctie  $Z3 = H_s * H_s * T_{pm}$  (zie Tabel 6.3) maatgevend [ref 8].

De tabellen vertonen logische waarden: zowel de significante golfhoogte ( $H_s$ ) als de golfperiode ( $T_{pm}$ ) nemen toe bij een toenemende waterdiepte. Alleen bij dijkvak 121 bij belastingfunctie Z2 geldt dat bij NAP +3m de golfperiode lager is dan bij NAP +2m (oranje gearceerd). Dit wordt veroorzaakt doordat bij een waterstand van NAP +3m een andere windrichting maatgevend wordt.

#### 4 Waterstanden

In Tabel 7 zijn de ontwerppeilen weergegeven die bij het ontwerp gebruikt dienen te worden. Vanwege het (nood)sluiten van de stormvloedkering bij een verwachte waterstand boven NAP+3 meter neemt men in de Oosterschelde geen zeespiegelrijzing en geen buistoten of seiches in beschouwing. Het ontwerppeil is daardoor gelijk aan het toetspeil 2006 dat ook in de tabel is opgenomen [ref 5 en 6]. Tabel 7 bevat ook de gemiddeld hoog waterstand en gemiddeld laag water (GHW en GLW). Verder zijn de waterstanden opgenomen bij gemiddeld getij, springtij en doottij (uit [ref 4]).

**Tabel 7: Waterstanden en ontwerppeilen**

Dijk- vak no.	Dijk kilometrering (km)		Ontwerppeil [m] tov NAP	GHW [m] tov NAP	GLW [m] tov NAP	Springtij		Doodtij	
	van	tot				HW [m] tov NAP	LW [m] tov. NAP	HW [m] tov NAP	LW [m] tov. NAP
121	80,65	78,85	3,7	1,60	-1,40	1,80	-1,45	1,35	-1,25
122a	78,85	78,70	3,7	1,60	-1,40	1,85	-1,45	1,35	-1,25
122b	78,70	<b>77,60</b>	3,7	1,65	-1,40	1,85	-1,45	1,35	-1,25

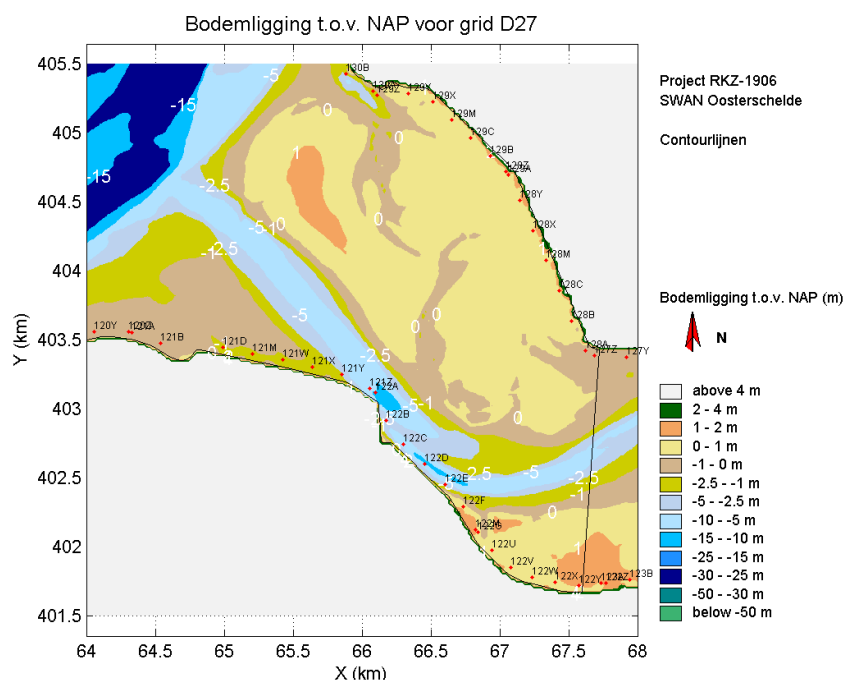
## 5 Bodemligging en golfcondities lagere waterstanden

De representatieve bodemligging [ref. 5 en 6] voor de dijkvakken is weergegeven in Tabel 8. De representatieve bodemligging van de dijkvakken varieert van NAP -4,94m (dijkvak 121) tot NAP -10,29m (dijkvak 122a). Voor de dijkvakken 122a en 122b ligt de geul de Krabbenkreek, waardoor deze dijkvakken duidelijk aan dieper water liggen dan het aansluitende dijkvak 121, waarvoor zich een slik bevindt (zie Figuur 6).

**Tabel 8: Bodemligging**

Dijkvak no.	Dijk kilometrering (km)		Representatieve bodemligging [m] tov NAP	Gemiddelde bodemligging [m] tov NAP	Stand.dev. bodemligging [m] tov. NAP
	van	tot			
121	80,65	78,85	-4,94	-2,21	2,72
122a	78,85	78,70	-10,29	-10,29	0,00
122b	78,70	<b>77,60</b>	-8,53	-6,16	2,38

**Figuur 6: Bodemligging rond dijktraject**



Bij de extrapolatie naar lagere waterstanden mogen de waarden  $H_s/D=0.7$  en  $H_s/L_0=0.06$  (= golfsteilheid) niet overschreden worden. In Tabel 9 en 10 is voor belastinggeval  $H_s \cdot T_{pm}$  (Z1) gecontroleerd of de waarden  $H_s/D \leq 0.7$  en  $H_s/L_0 \leq 0.06$  worden overschreden. In geen van de situaties worden deze waarden overschreden en behoeven de golfcondities gecorrigeerd te worden.

Tabel 9: Controle criterium  $H_s/D \leq 0.7$

Dijk- vak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP		D (m) bij waterstand t.o.v. NAP		Hs/D bij waterstand t.o.v. NAP	
	-2m	-1m	-2m	-1m	-2m	-1m
121	0,40	0,60	2,94	3,94	0,14	0,15
122a	0,50	0,65	8,29	9,29	0,06	0,07
122b	0,60	0,70	6,53	7,53	0,09	0,09

Tabel 10: Controle criterium  $H_s/L_0 \leq 0.06$

Dijk- vak no.	Hs [m] bij waterstand t.o.v. NAP		Tpm [s] bij waterstand t.o.v. NAP		L0 [m] bij waterstand t.o.v. NAP		Hs/L0 [m] bij waterstand t.o.v. NAP	
	-2m	-1m	-2m	-1m	-2m	-1m	-2m	-1m
121	0,40	0,60	2,30	2,70	8,25	11,37	0,048	0,053
122a	0,50	0,65	2,50	2,85	9,75	12,67	0,051	0,051
122b	0,60	0,70	2,80	2,95	12,23	13,58	0,049	0,052

## 6 Vergelijking Windwater 2006 en 2004



## I Bijlage: Periodematen, definities en toepassing

## A Definition of spectral period measures

A number of additional spectral parameters are computed, such as extra mean period measures, peak period measures and equivalent period measures. To increase the robustness of the computation of some of these parameters for measured spectra a smoothing technique is used. This appendix contains the definitions of these parameters and the smoothing algorithm that is applied. Background information about these parameters and the smoothing algorithm are given in Alkyon (1999), Battjes and Van Vledder (1984).

### Mean period measures

Firstly the mean period measures  $T_{m0,1}$  and  $T_{m0,2}$  are computed. These measures are based on the frequency moments  $m_i$  of a wave spectrum:

$$m_i = \int f^i E(f) df \quad (\text{A.1})$$

and read

$$T_{m0,1} = \frac{m_0}{m_1} \quad (\text{A.2})$$

$$T_{m0,2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (\text{A.3})$$

Also the following mean period measure is used:

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (\text{A.4})$$

Since the SWAN computations are carried on a finite frequency domain, both measured and computed mean wave periods are determined by integrating the moments in (A.1) over a finite integration domain with  $f_{low} = 0.03\text{Hz}$  and  $f_{high} = 0.50\text{Hz}$ .

### The block peak period $T_{pb}$

The block peak period  $T_{pb}$  is defined as the mean period  $T_{m-1,0}$  in an interval around the peak period  $T_p$ . The limits of the frequency interval are determined as the frequencies where on the lower and higher frequency ( $f_1$  and  $f_2$ ) flank around the spectral peak the energy density

has a downward crossing with the level of 40% of the energy density level at the spectral peak. The equation for the computation of the block peak period is:

$$T_{pb} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} f^{-1} E(f) df}{\int_{f_1}^{f_2} E(f) df} \quad (\text{A.5})$$

### Equivalent period measures for double peaked spectra

In the case of a double peaked spectrum the peak periods  $T_{p1}$  and  $T_{p2}$  and the block peak periods  $T_{pb1}$  and  $T_{pb2}$  are computed for each sub-spectrum. Based on these peak period measures an equivalent peak period  $T_{peq}$  and an equivalent block peak period  $T_{pbeq}$  are computed by a weighting with the total amount of energy per sub spectrum and the fourth power of the (block) peak in each sub-spectrum:

$$T_{peq} = \sqrt[4]{T_{p1}^4 \frac{m_0^{(1)}}{m_0} + T_{p2}^4 \frac{m_0^{(2)}}{m_0}} \quad (\text{A.6})$$

and

$$T_{pbeq} = \sqrt[4]{T_{pb1}^4 \frac{m_0^{(1)}}{m_0} + T_{pb2}^4 \frac{m_0^{(2)}}{m_0}} \quad (\text{A.7})$$

in which  $m_0$  is the total variances of the double peaked spectrum, and  $m_0^{(1)}$  and  $m_0^{(2)}$  are total wave variance in each sub-spectrum.

### Peak period $T_{pm}$

For double peaked spectra, both the block peak period  $T_{pb}$  (based on the highest peak) and the equivalent block peak period  $T_{pbeq}$  are computed. Based on these two estimates the characteristic peak period  $T_{pm}$  is computed as:

$$T_{pm} = \max(T_{pb}, T_{pbeq}) \quad (\text{A.8})$$





## J Bijlage: Algemene aanwijzingen ten aanzien van het afleiden van hydraulische ontwerprandvoorwaarden (Stappenplan in het kort)

Het maken van een ontwerp van een kering dient transparant en reproduceerbaar te zijn. In de praktijk van PBZ is gebleken hoe belangrijk dit is, met name als er voor eenzelfde traject een herziening of een revisietoets moest komen omdat er bijvoorbeeld nieuwe inzichten kwamen of er twijfels waren bij bepaalde uitkomsten. De werkwijze moet worden vastgelegd, liefst volgens een standaard manier, om de vergelijkbaarheid te vergroten, met andere ontwerpen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van een ontwerprecept, dat moet worden gevolgd en stapsgewijs uitgewerkt moet worden. Dit zal in dit document gebeuren volgens de werkwijze van het OI2014, maar zou in principe ook kunnen gebeuren volgens de oude werkwijze, i.e. met de huidige vigerende Leidraden<sup>33</sup>.

Voor beide ontwerprecepten kan worden gebruik gemaakt van

- Best practices

Een voorbeeld hiervan is de ontwerppraktijk voor steenbekledingen in Zeeland door PBZ. Adviezen daar zijn consistent, sluiten op elkaar aan, uitgangpunten zijn helder en navolgbaar volledig reproduceerbaar en consistent. De werkwijze is vastgelegd in wat in de ontwerppraktijk daar het 'kookboek' (zie ook (Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig, 23 februari 2011)) wordt genoemd. Alle adviezen t.a.v. de ontwerprandvoorwaarden zijn steekproefsgewijs gecheckt en op verdachte punten herberekend. Hierna wordt het ontwerpdocument aangepast in overleg tussen opsteller en reviewer. Hierbij is steeds aandacht geweest voor precieze formulering en reproduceerbaarheid. Er is dus een directe interactie van de kwaliteitsborger met de ontwerper in de reviewronde. Daarna is er een review met opdrachtgever, waarbij de kwaliteitsborger ook hier op toeziet dat wijzigingen juist worden doorgevoerd. Waar dit mogelijk is, zou deze werkwijze navolging moeten krijgen.

Verder is het sinds de rechterlijke uitspraak inzake Wilnis (Rechtspraak.nl, 2012), bepaald dat er gebruik moet worden gemaakt van de laatste inzichten. Dit betekent dat de ontwerper een verplichting heeft om informatie van de laatste stand van zaken aangaande techniek te verzamelen en verwerken in het ontwerp. Hierbij kan de Helpdesk Water helpen op een breed aantal onderwerpen.

### **Stappenplan: uit de praktijk van PBZ**

Om gesteld te kunnen staan voor welke ontwerpopgave dan ook, zijn er voor de beoordeling een aantal onderdelen noodzakelijk, evenals om het advies te kunnen reproduceren. Bij een ontwerp volgens de best practice uit PBZ is er in de werkwijze er aandacht voor de onderstaande stappen. Mist men in een rapportage een of meer van de bovenstaande onderdelen, dan bemoeilijkt dit de beoordeling van een dergelijk ontwerpdocument. Dit is gebleken in de praktijk bij PBZ.

---

<sup>33</sup> N.B. Het is overigens is bij het maken van ontwerpen niet de bedoeling om methoden te mixen en een a la carte achtige wijze van ontwerpen te hanteren. Ook moeten ontwerp filosofieën niet worden uitgewisseld: Immers gaat het in het LIR om een kans op een daadwerkelijke overstrooming, horende bij bijvoorbeeld een overslagdebiet van 5-10l/s/m en wordt reststerkte meegenomen; in de oude systematiek gaat het om een overschrijding van een beschermingsniveau, waarbij overschrijding tot 'acuut falen' zou leiden.

### Stap 0 Voorbereiding

De beslissing voor de ontwerpmethodede is feitelijk vaak al genomen, voor de start van het ontwerpproces, bij het uitschrijven van de opdracht door de opdrachtgever. Er moet worden gekozen óf voor het volgen van het OI2014 (of zijn opvolger), óf eventueel<sup>34</sup> de huidige vigerende methode. Maar uit onbekendheid met wat de overgang van overschrijdingskans naar overstromingskans betekent, kan een ontwerper of opdrachtgever bijvoorbeeld een conservatieve inslag hebben als het gaat om het toegestane overslagdebiet. Hiermee worden dan te conservatieve aannamen gemaakt, die ook niet passen bij de nieuwe ontwerpfilosofie volgens het OI 2014. De beslissing van de ontwerpfilosofie biedt het kader van alle hierop volgende stappen. Daarom is het belangrijk deze vast te leggen. Een motivatie voor het eventueel niet volgen van de nieuwe methode is daarbij gewenst.

### Stap 1 Het beschrijven van watersysteem

Bij het beschrijven van het watersysteem horen kenmerken en feiten als:

- De ligging van de kering, de oriëntatie
- Kenmerken van het watersysteem zoals waterstandgedomineerdheid of juist golfgedomineerdheid.
- Ligging van kunstwerken, dammen, nollen
- Ligging van het voorland: schoren, slikken, kwelders

Een uitgebreidere lijst is te vinden in deel 2, Paragraaf 9.4 van dit rapport, evenals een voorbeeld over hoe een dergelijke beschrijving er uit kan zien.

Ook in het kader van ruimtelijke consistentie is het wenselijk zo niet noodzakelijk om te vergelijken met aanliggende adviezen, i.e. adviezen van naastgelegen dijktrajecten (zie Paragraaf 4.4.3, en deel 2 van dit rapport).

Een goed begin hierbij kan uit de OI-werkwijzer, zoals de OI2014, worden gehaald.

### Stap 2 Het definiëren van de te vervullen functies van de kering en de eisen die dat met zich meebrengt aan de ontwerprandvoorwaarden, danwel het profiel

Een kering kan naast waterkeren ook bijvoorbeeld een functie hebben als evacuatieleroute. Dit brengt eisen met zich mee zoals over de kruinbreedte, en andere wijzigingen t.a.v. van het standaardprofiel. Het is nodig om dit al in een vroeg stadium duidelijk te hebben en mee te nemen in het pakket van eisen waaraan de kering moet voldoen, en voor de aanpassing van het dijkprofiel.

Een uitgebreid schema over hoe hiermee om te gaan staat uitgewerkt in deel 2, Paragraaf 9.5.

### Stap 3 Het bepalen van de locatie van de kering danwel het definiëren van het precieze ontwerpgebied.

Om adviezen voor ontwerpen op elkaar aan te kunnen laten sluiten is een precies begin- en eindpunt van de kering nodig. Het aangeven met dijkpaalnummers kan helpen, maar dijkpaalnummering is niet afdoende, omdat deze nummering soms niet uniek is! Een precieze aanduiding incl. Parijse x y-coördinaten is daarom nodig. Een voorbeeld hiervan is gegeven in deel 2, paragraaf 9.6 en 9.4

### Stap 4 Het bepalen en beschrijven van mogelijke situaties en scenario's.

Voor een ontwerp moet worden uitgegaan van extreme belastingen die horen bij de normconditie voor de dijkkring. Aanvullend zijn echter mogelijk bijzonderheden van belang als tot wanneer een

---

<sup>34</sup> Voor alle nHWBP projecten geldt dat hier OI2014 gebruikt *moet worden*. Dit is opgelegd binnen het nHWBP). Voor de HWBP2 projecten geldt dat een robuustheidscheck met OI2014 uitgevoerd dient te worden.

dijk begaanbaar moet zijn of tot en met welke situatie er nog een haven binnen kan worden gevaren. Het is noodzakelijk om deze op het netvlies te hebben alvorens tot de volgende stap over te gaan. In deel 2, paragraaf 9.7 wordt hier nader op ingegaan en zijn voorbeeldschema's gegeven.

#### **Stap 5 Van scenario's naar benodigde hydraulische ontwerprandvoorwaarden, o.b.v. normering.**

Aan de hand van de situaties en de norm kan beschouwd worden welke randvoorwaarden hier bij horen qua wind en andere aansturingsvariabelen (als er direct wordt gezocht in een database), of welke terugkeertijden hier bij horen (voor toepassing van de hydra's). Hierop wordt nader ingegaan in Hoofdstuk 4 van (Bieman & Kieftenburg, 2015) in Paragraaf 9.8, deel 2, van dit handboek.

Deze stap sluit nauw aan op stap 6.

#### **Stap 6 Het vertalen van scenario's naar benodigde hydraulische ontwerprandvoorwaarden, o.b.v. normering aan de hand van de situaties en de norm uit de vorige stap**

##### ***Stap 6a Het inventariseren en analyseren van beschikbare gegevens en het vertalen data naar dam of dijk, en naar de tijd van het 'einde ontwerp'.***

Met de inventariseren en analyseren van de beschikbare gegevens (o.a. HR2006 of CR2011) heeft de ontwerper nog geen ontwerprandvoorwaarden. Naast dat er conform de gekozen ontwerpmethodes nog toeslagen moeten worden bepaald voor klimaatverandering, en verschillende onzekerheden (zie Paragraaf 4.1, in (Bieman & Kieftenburg, 2015)), zal men ook moeten nagaan welke van deze toeslagen al zijn toegepast in de beschikbare gegevens over de belastingen. Dit om dubbeltellingen, en daarmee een mogelijk te grote robuustheid te voorkomen. De toegepaste toeslagen dienen duidelijk gerapporteerd te worden.

Let wel:

De ontwerper heeft hiernaast nog een plicht om informatie te verzamelen. Hierbij kan navraag bij de Helpdesk water uitkomst bieden als het gaat om:

- de precieze uitgangspunten en achtergronden, inclusief informatie over de gebruikte modellen, incl. versie en modelinstellingen, ligging van de uitvoerpunten etc. van de beschikbare gegevens uit de databases van het standaardinstrumentarium (i.e. oud, danwel OI2014)
- de stand der techniek en de verschillen t.o.v. de oude gegevens en modellen, inclusief toegepaste correcties voor modellen als SWAN en WAQUA e.d.
- informatie over bodemveranderingen (zie ook Paragraaf 4.1.8 van (Bieman & Kieftenburg, 2015)) zoals die voor de Oosterschelde bijvoorbeeld volgt uit de Schorren- en Slikkenprognose (Jacobse, Scholl, & Koppel, 8 november 2008)).

Maar ook bij:

- de nieuwste OI en de oude vigerende methode
- Etc.

Meer hierover is te vinden in deel 2, Hoofdstuk 10.

**Stap 6b Uitrekenen en reviewen van de Hydraulische ontwerprandvoorwaarden, en vaststellen met de opdrachtgever voor het aanvangen van het verdere proces**

Nadat de basis gegevens zijn verzameld of gelokaliseerd (de HR of CR), kunnen de toeslagen voor klimaat, onzekerheden e.d. worden afgeleid (zie ook (Bieman & Kieftenburg, 2015) , Paragraaf 4.2). Afhankelijk van of er wel of geen klimaatverandering is meegenomen in de HR/CR moet dat dan hier dus niet resp. wel worden meegenomen in de zeespiegelstijging voor de ontwerpperiode. Iets soortgelijks geldt voor modelcorrecties. Als deze al doorgevoerd zijn in de database met Hydraulische Randvoorwaarden dan moeten deze niet nogmaals worden doorgevoerd. Overigens kan het dus zijn dat er met nieuwe inzichten een andere extra of misschien kleinere modelcorrectie nodig is. Toeslagen voor andere onzekerheden zullen niet eerder zijn toegepast en komen daarmee bovenop de andere getallen.

Vóór het toepassen van de toeslagen zal gekeken moeten worden of de belasting ook fysisch realistisch is. Hiervoor zijn bij PBZ een paar standaardcontroles uitgevoerd op alle adviezen die de golfhoogte-diepteverhouding controleert, en een op de golfsteilheid. Deze zijn nader beschreven in Paragraaf 4.4.1 en 4.4.2. Zo nodig moeten de parameters nog worden bijgesteld naar een fysisch mogelijke golf (en geloofwaardig golfspectrum). Hierbij dient te worden opgemerkt dat hogere golven en waterstanden niet altijd tot een robuuster ontwerp leiden (zie deel 1, hoofdstuk 7 van dit handboek).

**Stap 7 Een heldere en transparante rapportage, inclusief eindcontrole****Stap 7a Een heldere en transparante rapportage.**

Met het volgen van en rapporteren over de bovenstaande stappen kan er een navolgbare en reproduceerbare set aan ontwerprandvoorwaarden worden gegeven. Hierbij moet ook steeds worden vermeld welke versies van de verschillende software men heeft gebruikt, voor welke profielen, op welke locaties en welke bijzonderheden men is tegengekomen. Aanbevolen wordt meteen een conceptrapportage te maken die in stap 7b kan worden overlegd.

Als er meer ontwerpen zijn te maken in hetzelfde gebied, zoals het geval was bij PBZ, dan is het standaardiseren van de adviezen zeer wenselijk zo niet noodzakelijk, zie ook het 'kookboek' (Svašek Hydraulics / Royal Haskonning, 23 februari 2011).

**Stap 7b Eindcontrole**

Hiernaast moeten de adviezen gecontroleerd worden op:

- aansluiting op de naastliggende vakken,
- of de golftrandvoorwaarden inderdaad fysisch correct leken,
- of een niet logisch verloop in  $H_s$  en/of  $T_p$  verklaard kon worden door draaiende windrichting,
- invloed van zandbanken e.d.

In de praktijk van PBZ heeft deze eindcontrole regelmatig foutjes uit de adviezen gehaald, danwel geleid tot het beschrijven van een plausibele verklaring die meestal als noot/opmerking is opgenomen in het ontwerpdocument.

**Stap 8 Akkoordering door de opdrachtgever.**

Uiteindelijk is het de opdrachtgever, al dan niet via een kwaliteitsborger die een fiat moet geven voor de ontwerpgetallen. Deze moeten worden vastgesteld met de opdrachtgever voor het voor het aanvangen van het verdere ontwerpproces.

## **K Bijlage: Extra: bij niet uitbreidbaarheid van de dam of dijk**

In deze bijlage komt aan de orde, waar rekening mee te houden als een kering niet of slecht uitbreidbaar is.

Als een kering zelf slecht uitbreidbaar of slecht te onderhouden is in verband met bijvoorbeeld de bereikbaarheid van de kering, of historische waarde, is het soms wel mogelijk om het voorland aan te passen.

Net als bij dubbele dijken (Meurs & Kieftenburg, december 2014) kan dan het voorland worden meegenomen en kan het geheel dan worden gezien als onderdeel van de primaire kering.

Bij dergelijke situaties moet rekening worden gehouden met toekomstige ontwikkelingen die 50 jaar verder liggen dan de oorspronkelijke scope.



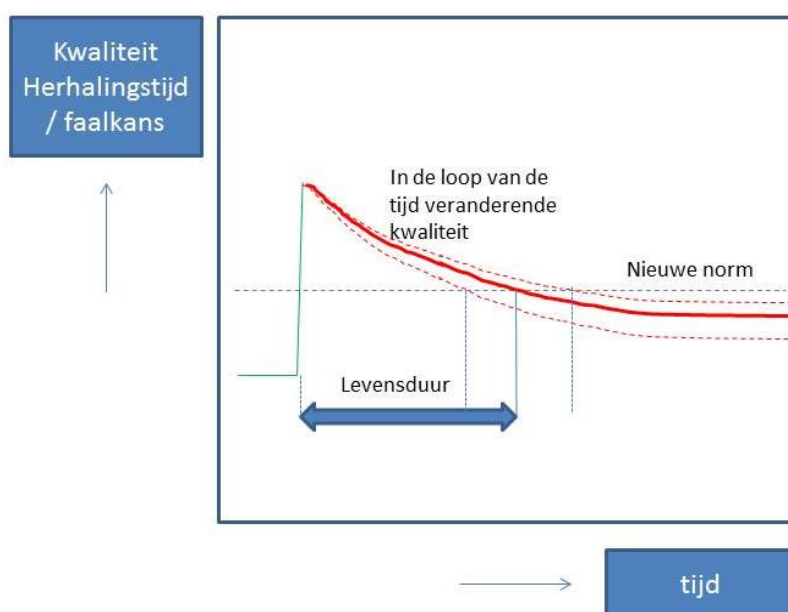
## L Bijlage: ontwikkelingen in ontwerpen en verwachte effecten van de nieuwe overstromingskansnormering

In de toekomst zal er worden ingezet op probabilistisch ontwerpen.

Voor het nHWBP is er een voorlopig ontwerp instrumentarium opgesteld, te weten het OI. Deze verandert van jaar tot jaar. De laatste is altijd op te vragen via de Helpdesk Water.

Het resultaat en de betekenis van de HR-dataset worden anders als statistische onzekerheden in WTI2017 als onderdeel van de hydraulische belastingen meegenomen. Het effect van de overgang van overschrijdingsnorm zonder onzekerheden naar overstromingsnorm met medeneming van onzekerheden is niet op voorhand duidelijk. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 0.1

Figuur 0.1 Relatie levensduur van ontworpen dam of dijk in relatie tot een nieuwe normering.



Hiernaast zijn er ontwikkelingen die plaatsvinden in het kader van het Delta Programma.

De ontwerper heeft de plicht om zich te informeren over de laatste stand der techniek. Hiernaast doet hij er verstandig aan navraag te doen over andere mogelijk relevante studies en inzichten voor het gebied dat hij beschouwd.

Ook zijn er soms handige zaken voor de ontwerper om te weten, zoals de extra set aan uitvoerlocaties bij de 2<sup>e</sup> Maasvlakte voor de berekeningen van de HR2006 voor de Hollandse Kust. De Tweede maasvlakte was destijds nog niet aangelegd, maar de globale ligging was al wel bekend.

Er zijn een aantal kenmerkende verschillen in uitgangspunten van de overgang van de overschrijdingskansnorm naar de overstromingskansnorm. Zo gaat het in de overschrijdingskansnorm om een kering die nog net niet faalt voor alle faalmechanismen, waar het bij de overstromingskansbenading juist gaat om een beginnende overstroming, en het dus juist fout

gaat met een of meer faalmechanismen. Daarom heeft het met de overstromingskansnorm zin om te differentiëren in de norm per dijktraject, waar dat eerder niet aan de orde was, In het memo zoals deze is te downloaden op de site van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (Hoogwaterbeschermingsprogramma, 2015) staat dat het OI een eerste stap is om hiermee om te kunnen gaan. Ook wordt hier expliciet genoemd dat er per gebied nader invulling moet worden gegeven aan het OI. Het OI2014 levert dus een eerste stap, maar nog geen optimaliseerd ontwerp op.

*N.B. Aandacht voor een gebiedsspecifieker ontwerp in de verkenningsfase kan geld besparen in de latere fases. Het OI wordt immers als conservatief aangemerkt (zie (Hoogwaterbeschermingsprogramma, 2015) ). Het OI geeft ook de vrijheid om van de algemene richtlijn af te wijken. Er wordt daarom dringend aanbevolen om de werkwijze van het OI kritisch te beschouwen per gebied om niet overrobuust te ontwerpen.*

*N.B. 2 Opgemerkt wordt dat het OI2014 in beweging is. De ontwerper dient zich daarom te vergewissen dat hij/zij de laatste versie van het OntwerpInstrumentarium hanteert.*

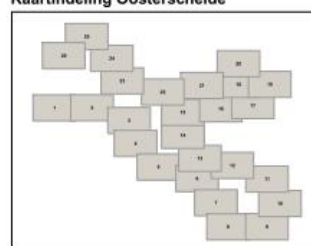


## M Bijlage: Voorbeeld inhoudsopgave atlas

### Inhoudsopgave Atlas Dijkvakindeling Oosterschelde

Kaartnummer	Dijkvaknummers	Kaartnummer	Dijkvaknummers
Kaart 1	OS-dvk1-dvk11	Kaart 14	OS-dvk102-dvk109
Kaart 2	OS-dvk12-dvk21b	Kaart 15	OS-dvk110-dvk118
Kaart 3	OS-dvk21b-dvk27d	Kaart 16	OS-dvk118-dvk122b
Kaart 4	OS-dvk28-dvk43	Kaart 17	OS-dvk123-dvk128
Kaart 5	OS-dvk43-dvk52a	Kaart 18	OS-dvk129-dvk134
Kaart 6	OS-dvk50-dvk60d	Kaart 19	OS-dvk134-dvk141
Kaart 7	OS-dvk61-dvk64	Kaart 20	OS-dvk141-dvk148d
Kaart 8	OS-dvk64-dvk71b	Kaart 21	OS-dvk148e-dvk148j
Kaart 9	OS-dvk72a-dvk79	Kaart 22	OS-dvk148j-dvk155f
Kaart 10	OS-dvk80-dvk82b	Kaart 23	OS-dvk155f-dvk162
Kaart 11	OS-dvk83-dvk89a	Kaart 24	OS-dvk162-dvk168
Kaart 12	OS-dvk89a-dvk93	Kaart 25	OS-dvk169a-dvk170
Kaart 13	OS-dvk92-dvk101	Kaart 26	OS-dvk-171a-dvk171c

Kaartindeling Oosterschelde



Project: 2007.10.64



Ministerie van Verkeer en Waterbouw  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Bron: (Svašek Hydraulics / Royal Haskonnig, februari 2010).