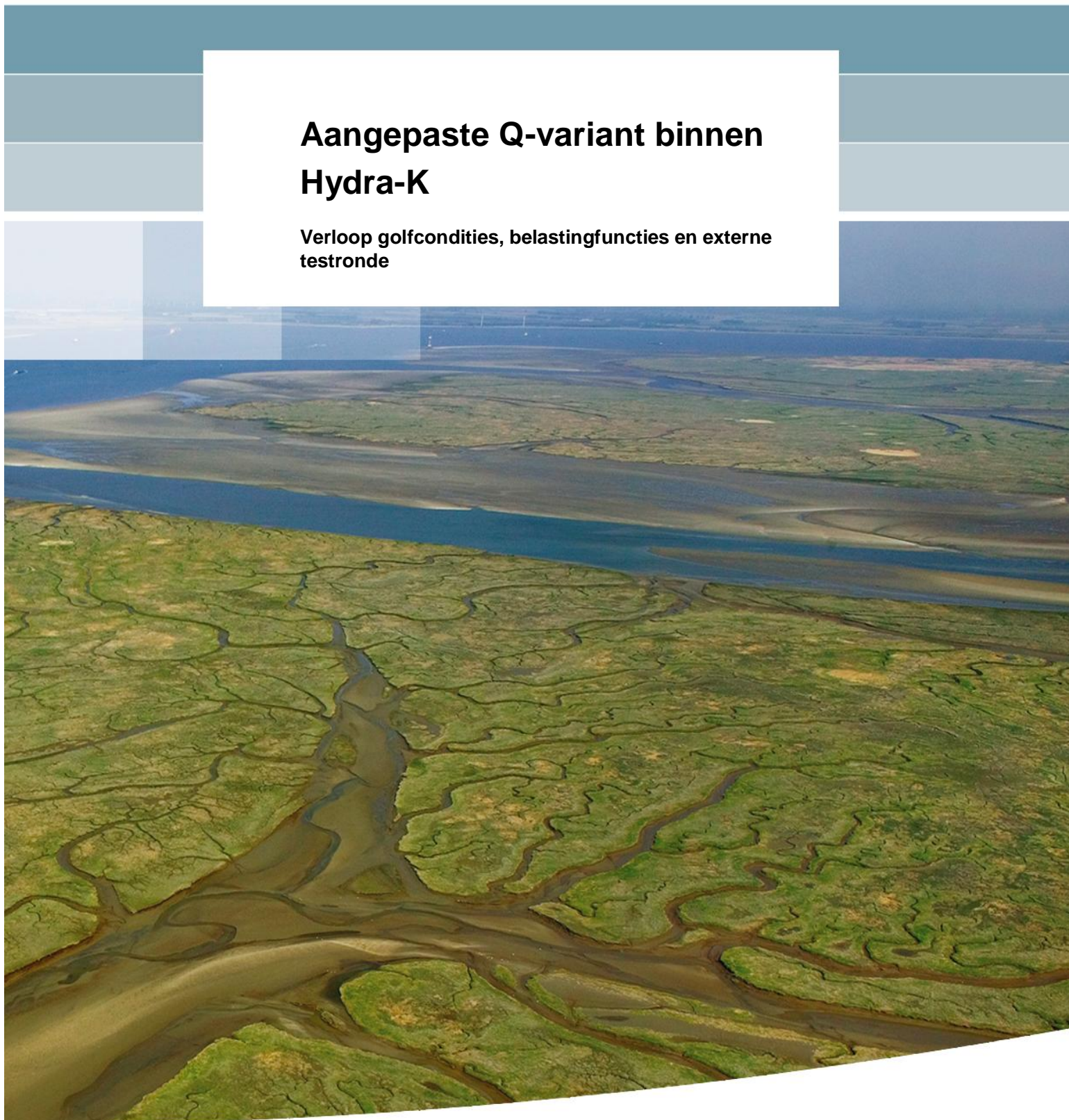


Aangepaste Q-variant binnen Hydra-K

**Verloop golfcondities, belastingfuncties en externe
testronde**



Aangepaste Q-variant binnen Hydra-K

Verloop golfcondities, belastingfuncties en externe testronde

Alfons Smale
Joost Beckers

1204143-002

Titel

Aangepaste Q-variant binnen Hydra-K

Opdrachtgever

RWS Waterdienst

Project

1204143-002

Kenmerk

1204143-002-HYE-0029

Pagina's

76

Trefwoorden

Hydra-K, bekledingen, belastingfuncties, verloop belasting, hydraulische belastingen

Samenvatting

Het Wettelijke Toets Instrumentarium (WTI) voor de vijfjaarlijkse toetsing van de primaire waterkeringen bestaat uit twee onderdelen: de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). De HR zijn een weergave van de maatgevende hydraulische belasting op een waterkering bij de wettelijke normfrequentie. De HR worden berekend met behulp van probabilistische Hydra-modellen, die de kans op vóórkomen van combinaties van waterstanden en golfbelasting berekenen. Het VTV-2006 schrijft voor dat elke waterkering getoetst moet worden voor verschillende faalmechanismen. Deze faalmechanismen zijn gevoelig voor verschillende combinaties van waterstand en/of golfhoogte. Daarom gelden in principe voor elk faalmechanisme aparte HR.




De Hydra-modellen zijn oorspronkelijk ontworpen voor toetsing op hoogte (overloop, golfoverslag en golfploop), later is daar de toetsing van bekledingen aan toegevoegd. Met Hydra-K kunnen hydraulische randvoorwaarden (HR) worden bepaald t.b.v. de toetsing van de hoogte (HT) en van de stabiliteit van de bekleding (STBK) van harde keringen langs de kust. Voor het bepalen van de HR voor de toetsing van bekleding is de zogenaamde Q-variant in Hydra-K geïmplementeerd (genaamd Hydra-K-Q, ofwel Hydra-K met de Q-variant).

Ten behoeve van de acceptatie en uitrol van Hydra-K-Q wordt in dit rapport (i) een (globale) toelichting gegeven op de berekeningswijze van Hydra-K-Q, (ii) een voorstel gedaan voor de te hanteren belastingfuncties, (iii) een toelichting gegeven op het gebruik van Hydra-K-Q en bijbehorende interpretatie van de resultaten van de Q-variant en (iv) het resultaat van een externe testronde gepresenteerd.

Op basis van de analyses van de belastingfuncties, het verloop van de golfcondities als functie van de rekenwaterstand en de externe testronde zijn aanbevelingen geformuleerd voor aanpassingen aan Hydra-K-Q voorafgaand aan de uitrol van Hydra-K-Q. Deze aanbevelingen zijn samengevat in een implementatieplan. Daarnaast worden algemene aanbevelingen gedaan voor aanpassingen aan Hydra-K welke niet direct gerelateerd zijn aan de Q-variant.

Referenties

Projectplan WTI – HR Zout 2011, 1204143-002-HYE-0001

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	apr. 2011	A.J. Smale J. Beckers		F. Diermanse		M.R.A. van Gent	
2	Aug. 2011	A.J. Smale J. Beckers		F. Diermanse		M.R.A. van Gent	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Doel van dit rapport	1
1.3 Leeswijzer	1
2 Beschrijving Hydra-K(-Q)	3
2.1 HR t.b.v. hoogte toets	3
2.2 HR t.b.v. stabiliteit bekleding	7
3 Belastingfuncties	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Overzicht belastingfuncties uit literatuur	12
3.2.1 Steenzetting (betonzuilen en blokken)	12
3.2.2 Asfalt in golfklapzone	13
3.2.3 Grasmatt golfklapzone	14
3.2.4 Grasmatt oploopzone	14
3.2.5 Breuksteen	15
3.2.6 Afschuiven bekleding (asfalt/steenzetting)	15
3.3 Voorstel belastingfuncties	16
3.3.1 Steenzetting (betonzuilen en blokken)	16
3.3.2 Asfalt in golfklapzone	22
3.3.3 Grasmatt golfklapzone	25
3.3.4 Grasmatt oploopzone	25
3.3.5 Breuksteen	25
3.3.6 Afschuiven bekleding (asfalt/steenzetting)	28
3.3.7 Opdrukken asfalt	31
3.4 Conclusies en aanbevelingen belastingfuncties	32
4 Gebruik Hydra-K-Q (versie 3.6.1)	35
4.1 Interactieve mode	35
4.2 Batch-mode	36
5 Verloop van de belasting als functie van de rekenwaterstand	39
5.1 Algemeen verloop	39
5.2 Voorbeeld interpretatie nabij toetspeil	41
5.2.1 Situatie met aanlandige wind (gesloten kust, Hondsbossche Zeewering)	41
5.2.2 Situatie met aanlandige wind (Waddenzee)	45
5.2.3 Situatie met afluiddige wind	49
5.3 Conclusies en aanbevelingen verloop belasting	51

6 Externe test-ronde Hydra-K-Q	53
6.1 Inleiding	53
6.2 Testprotocol Hydra-K-Q	53
6.3 Resultaten testronde Hydra-K-Q	53
6.3.1 Algemeen	53
6.3.2 Gebruik	54
6.3.3 Inhoudelijk	55
6.4 Reactie op bevindingen en benodigde aanpassingen Hydra-K-Q	57
6.4.1 Gebruik	57
6.4.2 Inhoudelijk	58
6.5 Conclusies en aanbevelingen test-ronde Hydra-K-Q	60
7 Conclusies en aanbevelingen	61
7.1 Belastingfuncties	61
7.2 Verloop belasting als functie van rekenwaterstand	62
7.3 Externe test-ronde Hydra-K-Q	62
7.4 Implementatievoorstel	63
8 Referenties	65
Bijlage(n)	
A “standaard format” zoals gehanteerd in testronde	A-1
B Deelnemers externe testronde	B-1
C Terugmelding deelnemers externe testronde	C-1
C.1 Terugmelding Wetterskip Fryslân, J. Langenberg	C-2
C.2 Terugmelding Waterschap Scheldestromen, H. van der Sande	C-3
C.3 Terugmelding, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, P. van Goessen	C-4
C.4 Terugmelding Royal Haskoning, L. van Nieuwenhuijzen	C-5
C.5 Terugmelding Witteveen+Bos, M. Jansen	C-6

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Het Wettelijke Toets Instrumentarium (WTI) voor de vijfjaarlijkse toetsing van de primaire waterkeringen bestaat uit twee onderdelen: de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV). De HR zijn een weergave van de maatgevende hydraulische belasting op een waterkering bij de wettelijke normfrequentie. De HR worden berekend met behulp van probabilistische Hydra-modellen, die de kans op vóórkomen van combinaties van waterstanden en golfbelasting berekenen.

Het VTV-2006 schrijft voor dat elke waterkering getoetst moet worden voor verschillende faalmechanismen. Deze faalmechanismen zijn gevoelig voor verschillende combinaties van waterstand en/of golfhoogte. Daarom gelden in principe voor elk faalmechanisme aparte HR. Bijvoorbeeld, het faalmechanisme 'overloop' is alleen gevoelig voor hoge waterstanden. Het faalmechanisme 'instabiliteit bekleding buitentalud' is vooral gevoelig voor hoge golven bij een waterstand ter hoogte van het betreffende taluddeel.

De Hydra-modellen zijn oorspronkelijk ontworpen voor toetsing op hoogte (overloop, golfoverslag en golfploop), later is daar de toetsing van bekledingen aan toegevoegd. Met Hydra-K kunnen hydraulische randvoorwaarden (HR) worden bepaald t.b.v. de toetsing van de hoogte (HT) en van de stabiliteit van de bekleding (STBK) van harde keringen langs de kust. Voor het bepalen van de HR voor de toetsing van bekleding is de zogenaamde Q-variant in Hydra-K geïmplementeerd (genaamd Hydra-K-Q, ofwel Hydra-K met de Q-variant). Het oorspronkelijke ontwerp van Hydra-K is daarbij in essentie niet aangepast. De Q-variant berekent de golfbelasting voor een gegeven waterstand. Deze conditionele belasting (gegeven een waterstand) is wezenlijk verschillend van de belasting voor de hoogtetoets. Voor de hoogtetoets is de waterstand namelijk het resultaat van de berekening, terwijl deze in de Q-variant op voorhand is vastgelegd. De reden dat in de Q-variant de waterstand op voorhand wordt vastgelegd, is dat toetsprogramma's als Steentoets en Golfklap werken met op voorhand vastgelegde waterstanden als invoerwaarden.

1.2 Doel van dit rapport

Ten behoeve van de acceptatie en uitrol van Hydra-K-Q wordt in dit rapport (i) een (globale) toelichting gegeven op de berekeningswijze van Hydra-K-Q, (ii) een voorstel gedaan voor de te hanteren belastingfuncties, (iii) een toelichting gegeven op het gebruik van Hydra-K-Q en bijbehorende interpretatie van de resultaten van de Q-variant en (iv) het resultaat van een externe testronde gepresenteerd.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een globale toelichting gegeven op de berekeningswijze van Hydra-K-Q. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 3 nader ingegaan op belastingfuncties die gehanteerd zijn in het verleden en de belastingfuncties zoals deze volgens de laatste inzichten zouden kunnen worden gehanteerd. Hoofdstuk 4 geeft een korte toelichting op het gebruik van Hydra-K-Q (versie 3.6.1), zowel in de interactieve als de batch-modus. In hoofdstuk 5 wordt een toelichting gegeven op de interpretatie van de door Hydra-K-Q gegenereerde hydraulische randvoorwaarden. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van een externe testronde gepresenteerd. De uit de voorgaande hoofdstukken volgende conclusies en aanbevelingen worden gepresenteerd in Hoofdstuk 7.

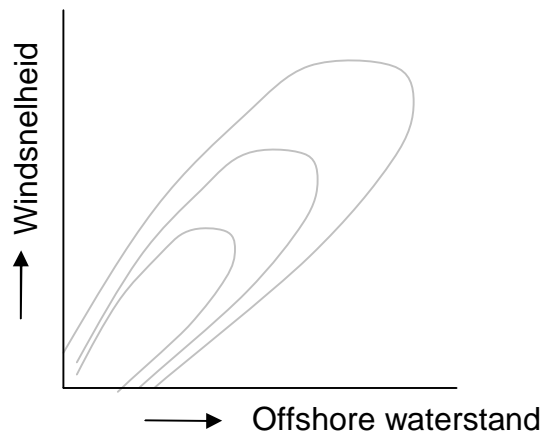
2 Beschrijving Hydra-K(-Q)

2.1 HR t.b.v. hoogte toets

Het probabilistische model Hydra-K berekent de kans op falen van waterkeringen langs de Nederlandse kust. Er zijn verschillende mechanismen die het bezwijken van keringen kunnen veroorzaken, zoals golfloop/overslag, instabiliteit van de dijkbekleding of instabiliteit van het dijklichaam. Voor de meeste van deze faalmechanismen is in Hydra-K een betrouwbaarheidsfunctie Z geïmplementeerd die de sterkte van de kering vergelijkt met de hydraulische belasting. De belasting is een functie van de belastingvariabelen en als $Z < 0$ treedt falen op.

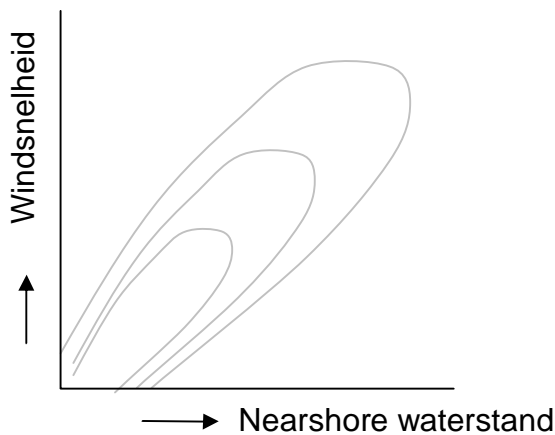
De methode voor de probabilistische bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden kan als volgt worden toegelicht:

- 1 Als uitgangspunt voor de probabilistische berekening wordt gestart met de gecombineerde kans van voorkomen van wind en waterstand op een offshore locatie. Deze gecombineerde kans kan worden beschreven als een tweedimensionale kansverdeling waarvan Figuur 2.1 een grafische weergave is. Figuur 2.1 presenteert de isolijnen van gelijke kansdichtheid. De vorm van deze isolijnen is in de regel een ellips, met een hoofdas gericht naar het kwadrant rechtsboven. De vorm van de ellips wordt veroorzaakt door het feit dat de waterstand en windsnelheid gecorreleerd zijn aan elkaar: hoge windsnelheid leidt vaak tot hoge waterstanden (geen correlatie had geleid tot meer cirkelvormige isolijnen en volledige correlatie had geleid tot een rechte lijn).



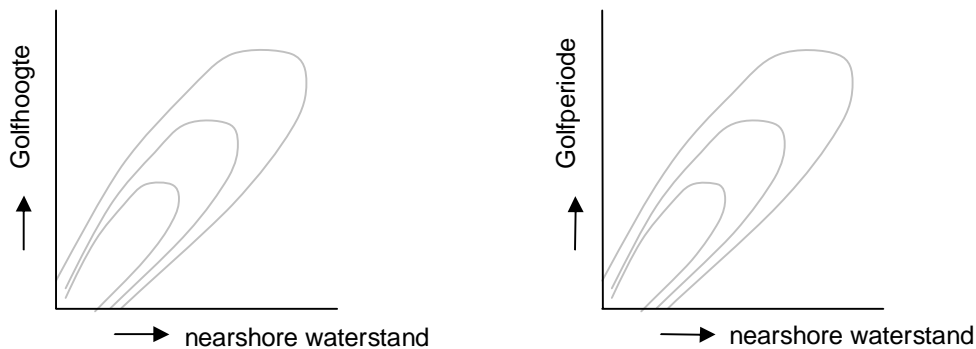
Figuur 2.1 Illustratie kansverdeling wind en waterstand

- 2 De tweedimensionale kansverdeling gepresenteerd in Figuur 2.1 kan worden vertaald naar een twee-dimensionale verdeling geldig voor een locatie aan de teen van een dijk: een gegeven combinatie van offshore windsnelheid en waterstand leidt tot een gegeven combinatie van nearshore windsnelheid en waterstand. Figuur 2.1 wordt dan getransformeerd naar Figuur 2.2 (ze lijken op het oog exact gelijk, maar hebben verschillende variabelen op de x-as staan). Opgemerkt wordt dat hierbij wordt uitgegaan van de piekwaterstand binnen een storm. Het stormverloop en faseverschuiving tussen windsnelheid en waterstand worden buiten beschouwing gelaten.



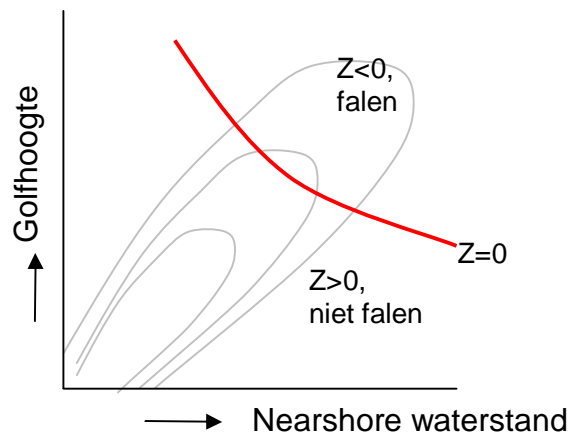
Figuur 2.2 Illustratie kansverdeling windsnelheid en nearshore waterstand

3 Vervolgens kan de windsnelheid en waterstand (per windrichting) worden vertaald naar golfhoogte, -periode en -richting. Dit leidt dan tot een vertaling van Figuur 2.2 naar Figuur 2.3. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een opzoektabel waarin de voor gegeven windsnelheid, windrichting en waterstand de bijbehorende nearshore golfcondities (golfhoogte, -periode en -richting) opgenomen. Opgemerkt wordt dat door de introductie van windrichting de tweedimensionale verdeling een driedimensionale verdeling wordt en dat de vertaling van windsnelheid naar golfhoogte en golfperiode nog een extra stochast geïntroduceerd wordt, waardoor er feitelijk sprake is van een vierdimensionale verdeling. Omwille van dit voorbeeld worden hier echter enkele tweedimensionale afbeeldingen gepresenteerd. Ook hier gaat het om de condities behorende bij de piekwaterstand binnen de storm.



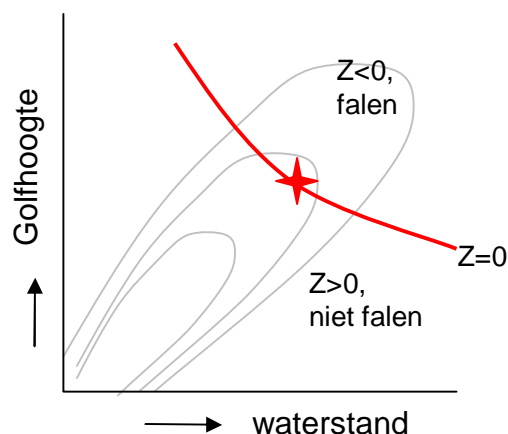
Figuur 2.3 Illustratie kansverdelingen a) nearshore waterstand en golfhoogte, b) nearshore waterstand en golfperiode

- 4 Als nu gekeken wordt naar een belastinggeval, hier wordt golfoverslag als voorbeeld genomen, dan kunnen in Figuur 2.3 lijnen (faalgrenzen) worden getrokken van gelijke belasting (lees golfoverslag). Figuur 2.4 geeft een voorbeeld weer van een isolijn waarvoor geldt dat er sprake is van 1 l/s/m overslag (met op de achtergrond nog steeds de kansverdeling van waterstand en golfhoogte). Het gebied rechtsboven de faalgrens is het faalgebied: $Z < 0$. De faalgrens verschilt per (wind)richting, omdat de hoek van golfaanval verschilt per richting en daarmee het overslagdebiet. Daarnaast verschilt de faalgrens per faalmechanisme.



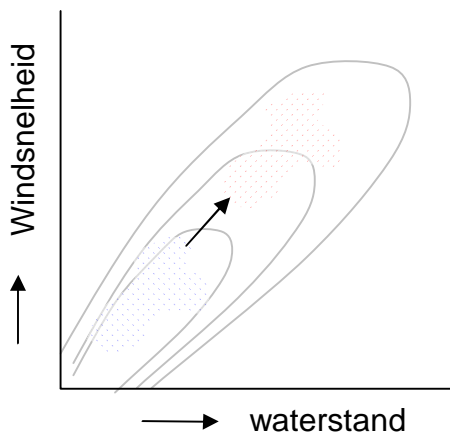
Figuur 2.4 Illustratie faalgrens in kansverdeling nearshore waterstand en golfhoogte

- 5 Tot slot kan bepaald worden hoe groot de kans is dat er een belasting groter dan de sterkte optreedt (in dit geval een belasting van meer dan 1 l/s/m). Deze kans kan worden bepaald door de integraal te nemen van de gezamenlijke kansdichtheid van wind en waterstand.
- 6 De Hydraulische Randvoorwaarden behorende bij deze kans te worden bepaald door een representatieve set van condities te selecteren uit het faalgebied. Deze set van condities is de set met de hoogste kansdichtheid op de faalgrens, zie Figuur 2.5. Deze set van condities is de meest waarschijnlijke combinatie waarvoor geldt $Z=0$. Met andere woorden: als er een situatie optreedt met een overslagdebiet van 1 l/s/m, dan is dit waarschijnlijk het gevolg van deze condities of condities die daar sterk op lijken.



Figuur 2.5 Illustratie bepaling illustratiepunt op faalgrens

In de beschrijving hierboven is uitgegaan van een geparametriseerde tweedimensionale kansverdeling voor wind en waterstand. In Hydra-K wordt echter gewerkt met waargenomen waterstanden en windrichtingen in een groot aantal stormen. De isolijnen in de kansdichtheidsplots van Figuur 2.1 tot en met Figuur 2.5 worden daarmee vervangen door observaties. Deze observaties zijn echter niet extreem (ze zijn namelijk gemeten in een periode van minder dan 30 jaar) en om dat te illustreren zijn ze weergegeven in de linkeronderhoek van Figuur 2.6.



Figuur 2.6 Illustratie van geobserveerde en opgeschaalde stormen

Om de observaties te kunnen gebruiken voor de probabilistische berekening worden de observaties opgeschaald in intensiteit (hogere windsnelheden en bijbehorende waterstanden) en krijgen dan een kleinere kans van voorkomen. Hierdoor worden kunstmatige observaties verkregen welke rondom de verwachte faalgrens zullen liggen. Deze opschaling gaat onder behoud van de geobserveerde correlaties tussen windsnelheid, windrichting en waterstand, golfhoogte en –periode. Dit behoud van correlatie geldt overigens alleen in een wiskundig getransformeerde ruimte, de correlatie tussen werkelijke waterstanden en windsnelheden kan wel enigszins veranderen.

In plaats van het nemen van de integraal voor het bepalen van de faalkans, kan nu eenvoudig het aantal opgeschaalde stormen worden geteld in het faalgebied ($Z < 0$). Afhankelijk van de schaling is bekend hoeveel punten in het faalgebied moeten liggen zodanig dat de faalgrens overeen komt met de normfrequentie. Beter: op basis van het aantal stormen in het faalgebied en de grootte van de toegepaste opschaling kan de faalkans van een kering worden gekwantificeerd. De vertaling van de observaties “offshore” naar “nearshore” (stappen 1 tot en met 3) blijft gelijk.

Het model Hydra-K kan behalve een faalkans van een gegeven waterkering ook een ontwerpberekening uitvoeren. Hierbij ligt de faalkans vast op de gewenste normfrequentie. Voor de Hollandse Kust is dit $1/10.000^e$ per jaar. In deze berekening wordt de ligging van de faalgrens ($Z=0$) aangepast door de sterkte van de kering, bijvoorbeeld de kruinhoogte, te variëren. De faalgrens wordt net zo lang verschoven totdat de faalkans precies de gewenste waarde heeft. De resulterende kruinhoogte is dié kruinhoogte waarmee exact de gewenste faalkans gerealiseerd wordt.

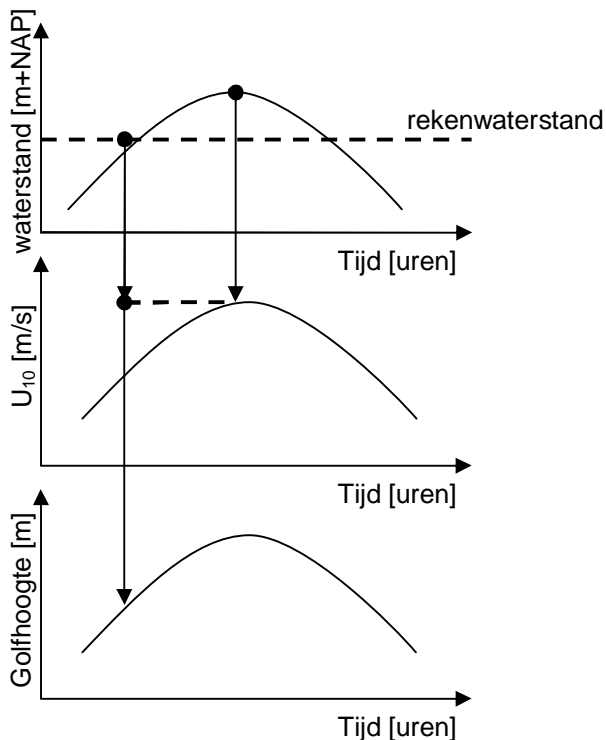
De faalgrens voor het falen op hoogte (golfoploop en/of golfoverslag) heeft typisch de vorm van Figuur 2.4, dat wil zeggen een toename van de waarden van de belastingvariabelen leidt tot een toename van de belasting en daarmee tot een afname in de Z-functie. De faalgrens bestaat uit alle combinaties van belastingvariabelen waterstand, golfhoogte, -periode en richting die leiden tot een kritisch overslagdebiet (mits de toets op hoogte voor het faalmechanisme 'overslag' wordt uitgevoerd). Het punt op de faalgrens dat de grootste kans van optreden heeft wordt het eerste illustratiepunt IP1 genoemd. In dit geval is de waterstand onderdeel van het illustratiepunt. Voor de wettelijke toetsing wordt een tweede illustratiepunt IP2 bepaald, waarbij de waterstand gelijk is aan het toetspeil. Dit toetspeil is buiten Hydra-K om bepaald en is derhalve invoer voor Hydra-K. De waterstand in IP2 is vrijwel altijd hoger dan in IP1 en de golfhoogte en periode zijn lager. Het overslagdebiet in beide illustratiepunten is gelijk. De golfcondities (H_{m0} en $T_{m-1,0}$) behorende bij het IP2 worden gepubliceerd in het randvoorwaardenboek. Voor een gedetailleerde beschrijving van de bepaling van HR ten behoeve van de hoogtetoets wordt verwezen naar HKV & Alkyon (2011).

2.2 HR t.b.v. stabiliteit bekleding

Voor de toetsing van bekledingen (bijvoorbeeld m.b.v. Steentoets) bepaalt Hydra-K conditionele HR voor een rekenwaterstand. Dit is een fundamenteel andere berekeningswijze, zowel met betrekking tot het vertalen van offshore tweedimensionale kansverdeling van waterstanden en windsnelheden naar de nearshore kansverdeling als de definitie van de faalgrens. Onderstaand worden deze verschillen nader toegelicht:

Een belangrijk aspect is de aanname dat alle stormen waarvoor de piekwaterstand groter is dan de rekenwaterstand een bijdrage leveren aan de belasting ter hoogte van de rekenwaterstand (stormen met lagere piekwaterstanden dragen dus niet bij). Verder wordt gekozen voor een bovengrensbepaling waarin gesteld wordt dat de windsnelheid behorende bij de piekwaterstand ook geldt voor de rekenwaterstand. Dit houdt in dat de vertaling van de golfgegevens van de opgeschaalde stormen gebruik maakt van de rekenwaterstand in combinatie met de windsnelheid behorende bij de piek van de storm, terwijl voor de hoogtetoets juist de piekwaterstand en bijbehorende windsnelheid worden gehanteerd. Dit verschil in aanpak komt voort uit het feit dat voor de stabiliteit van bekleding gekeken wordt naar golfcondities bij een specifieke rekenwaterstand (voorwaardelijke waterstand), terwijl voor de hoogtetoets naar alle combinaties van waterstanden en golfcondities wordt gekeken.

De golfgegevens van de stormen waarbij de maximale waterstand boven de rekenwaterstand ligt, worden "vertaald" naar de rekenwaterstand, waarbij dezelfde windsnelheid en windrichting wordt aangehouden als tijdens de maximale waterstand, zie Figuur 2.7. Feitelijk wordt hierbij de golfhoogte en periode gezocht volgens: $H_{m0} = f(u_{10, \text{piek}}, \Theta_{10, \text{piek}}, \text{rekenwaterstand})$ en $T_p = f(u_{10, \text{piek}}, \Theta_{10, \text{piek}}, \text{rekenwaterstand})$. Hierin is $u_{10, \text{piek}}$ de windsnelheid bij de piek waterstand en $\Theta_{10, \text{piek}}$ de windrichting bij de piekwaterstand. De aldus gevonden waarden voor de golfhoogte en periode worden gebruikt voor de bepaling van S in vergelijking (2.1).



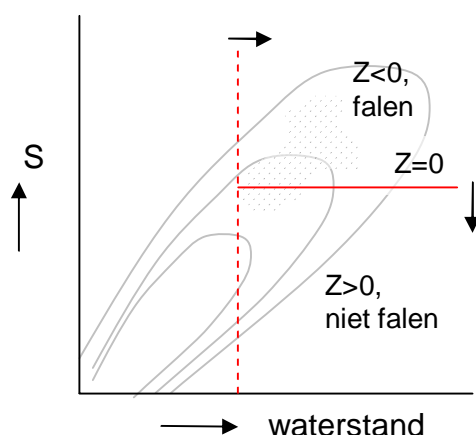
Figuur 2.7 Schematische weergave van de bepaling van golfcondities voor opgeschaalde stormen

Met de golfcondities “vertaald” naar de rekenwaterstand wordt vervolgens de golfbelasting “S” bepaald. De golfbelasting wordt uitgedrukt in een functie:

$$S = H_s^a \times T_p^b \times \cos^c(\beta) \quad (2.1)$$

Het faalgebied voor stabiliteit bekledingen (zie Figuur 2.8) heeft een wezenlijk andere vorm dan voor de hoogtetoets (Figuur 2.4). Het faalgebied wordt enerzijds begrensd door de rekenwaterstand en anderzijds door een kritieke waarde van S (de zogenaamde S_{50}). In het geval van een ontwerpberekening wordt de kritieke waarde bepaald door de faalgrens (horizontale lijn) net zo lang te verschuiven totdat de faalkans precies de gewenste normfrequentie heeft. In combinatie met de wijze van opschalen van de stormen houdt dit in dat de grens zodanig verschoven wordt dat er 50 opgeschaalde stormen in het faalgebied moeten liggen. Deze waarde van 50 is een default-waarde van Hydra-K. Deze default-waarde zorgt ervoor dat bij alle berekeningen met Hydra-K exact 50 stormgebeurtenissen in het faalgebied komen. De achterliggende gedachte is dat er daarmee altijd een vast percentage faalgebeurtenissen is. Op basis van testen uit het verleden is vastgesteld dat dit percentage leidt tot een goede kansschatting. Tevens is vastgesteld dat de uitkomsten van de berekeningen nauwelijks zullen veranderen door een kleine verandering in deze keuze (bijvoorbeeld 40 of 60 faalgebeurtenissen).

Op basis van de gevonden kritieke waarde van S (S_{50}) die hoort bij de normfrequentie wordt vervolgens een representatieve set van golfcondities bepaald die (vrijwel) exact deze belastingwaarde S_{50} oplevert. Aangezien meerdere combinaties mogelijk zijn die deze belasting opleveren, wordt de combinatie gekozen met de grootste kans van voorkomen. Deze representatieve set golfcondities wordt gebruikt als invoer voor Steentoets, Golfklap, etc. om de toetsing uit te voeren.



Figuur 2.8 Schematische weergave van een faalgebied ($Z < 0$) voor stabiliteit bekledingen

Voor de rekenwaterstanden (nabij het toetspeil) geldt dat bij een toenemende rekenwaterstand de kans van overschrijden van deze specifieke rekenwaterstand steeds kleiner wordt (de integraal over het faalgebied wordt steeds kleiner), totdat het toetspeil wordt bereikt: dan is de kans van overschrijden van de rekenwaterstand gelijk aan de normfrequentie. Omdat de Q-variant voor iedere rekenwaterstand dezelfde kans van overschrijden aanhoudt (de integraal over het faalgebied moet gelijk blijven), moet bij een toenemende waterstand de belasting "S" afnemen. Dit resulteert in een steeds kleiner wordende windsnelheid bij toenemende rekenwaterstand, wat vervolgens leidt tot kleiner wordende golfcondities bij toenemende rekenwaterstand. Dit fenomeen alsmede de wijze waarop hiermee om dient te worden gegaan worden beschreven in Hoofdstuk 5 (paragraaf 5.2)

In de metingen is sprake van een sterke correlatie tussen golfhoogte en waterstand. Daardoor komt de maatgevende golfhoogte bij een gegeven waterstand veelal overeen met de verwachtingswaarde van de golfhoogte bij die betreffende waterstand. Hetzelfde geldt voor de golfperiode. Voor waterstanden nabij het toetspeil wijken de resultaten af van de verwachtingswaarde: in **hoofdstuk 5** wordt hierop een toelichting gegeven.

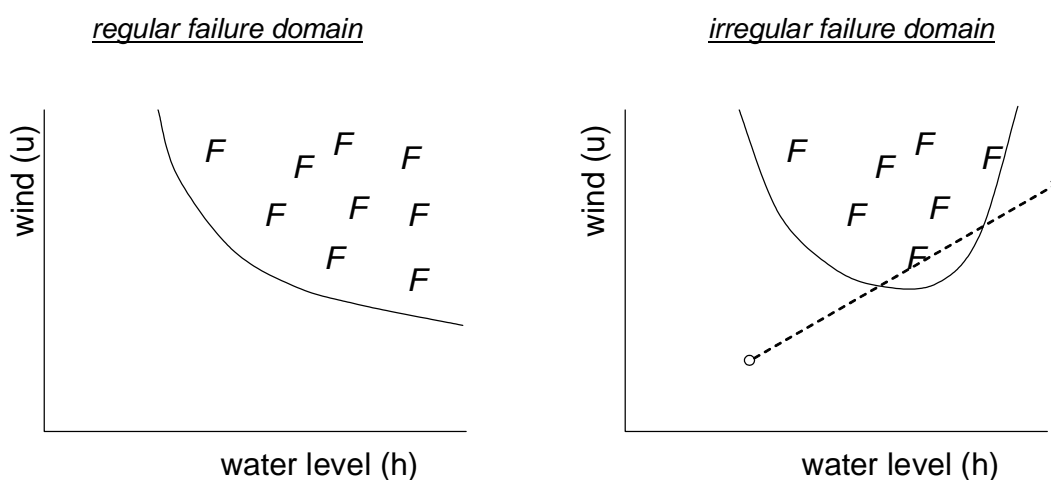
Voor de Oosterschelde is de functionaliteit van de oude bekledingenmodule intact gehouden, evenals de daarbij behorende opties en parameters in het invoerbestand. Reden hiervoor is het feit dat de belasting in de Oosterschelde complexer is en dat hiervoor de Q-variant nog niet is geïmplementeerd.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de bepaling van HR ten behoeve van de stabiliteit bekleding wordt verwezen naar HKV (2010a).

3 Belastingfuncties

3.1 Inleiding

De huidige versie van Hydra-K kan geen Hydraulische Randvoorwaarden voor bekledingen bepalen indien een toename van de windsnelheid niet leidt tot een toename van de golfhoogte en/of periode en daarmee een toename van de belasting. Voor dergelijke situatie geldt dat er sprake is van een irregulier faalgebied:



Figuur 3.1 Regular and irregular failure domains, taken from HKV & BMT ARGOS (2009)

Een dergelijke situatie doet zich bijvoorbeeld voor bij de belasting op steenbekleding “zuilen”. Een toename van de windsnelheid levert over het algemeen een grotere golfhoogte en golfperiode. Echter, indien sprake is van een ondiepte voor de primaire kering, dan zal wel de golfperiode maar niet de golfhoogte toenemen. Hierdoor verandert de golfsteilheid van relatief steil naar flauw. Indien de golfsteilheid afneemt tot minder dan ongeveer 2%, dan zal de belasting bij toenemende windsnelheid (resultierend in een toenemende golfperiode) vanwege de vorm van de belastingfunctie alleen nog maar afnemen. Dit heeft een irregulier faalgebied tot gevolg.

In het kader van de ontwikkeling van Hydra-K-Q als onderdeel van het Wettelijk Toets-Instrumentarium (WTI) worden vereenvoudigde belastingfuncties voor een aantal bekledingstypen gedefinieerd. Deze belastingfuncties hebben een generieke vorm, waarin de coëfficiënten “a”, “b” en “c” per bekledingstype vastgesteld dienen te worden:

$$S = H_s^a \cdot T_p^b \cdot (\cos \beta)^c \quad (3.1)$$

Vanwege de vorm van deze belastingfunctie kunnen er (vooropgesteld dat de coëfficiënten “a”, “b” en “c” positief zijn) geen irreguliere faalgebieden optreden. De belastingfunctie is monotoon stijgend. De bestaande (complexe) belastingfuncties voor bekledingen dienen dan ook vertaald te worden naar een belastingfunctie in de vorm van vergelijking 3.1.

Voor een groot aantal bekledingstypen zijn in het verleden coëfficiënten afgeleid. Deze coëfficiënten zijn echter niet altijd eenduidig of zijn bepaald ten behoeve van het ontwerp van

bekleding in plaats van het toetsen van bekleding. Daarnaast zijn er voor een aantal bekledingstypen nog geen coëfficiënten afgeleid. Opgemerkt dient te worden dat het vermenigvuldigen van de coëfficiënten "a", "b" en "c" met dezelfde factor geen wezenlijke verandering van de belastingfunctie geeft. De functie wordt namelijk alleen gebruikt voor het vastleggen van het onderlinge gewicht van H_s , T_p en $\cos(\beta)$. De set coëfficiënten "a=1", "b=1" en "c=1" levert dezelfde resultaten op als de set coëfficiënten "a=2", "b=2" en "c=2". Om dezelfde reden maakt het ook niet uit als de hele rechterzijde van de bovenstaande vergelijking met een positieve constante wordt vermenigvuldigd. De absolute waarde van S heeft derhalve geen fysische betekenis, het dient alleen om de onderlinge rangorde van belastingen vast te leggen.

In dit hoofdstuk wordt allereerst een overzicht gegeven van de beschikbare coëfficiënten uit de literatuur (paragraaf 3.2). Vervolgens wordt per bekledingstype op basis van zowel de eerder vastgestelde coëfficiënten als de meest recente ontwikkelingen een voorstel gedaan ten aanzien van de te hanteren coëfficiënten (paragraaf 3.3).

3.2 Overzicht belastingfuncties uit literatuur

3.2.1 Steenzetting (betonzuilen en blokken)

Voor steenzetting (betonzuilen of blokken) is reeds enkele malen onderzoek gedaan naar de te hanteren waarden voor de coëfficiënten in de belastingfunctie. Voor steenzetting wordt onderscheid gemaakt tussen zuilen en blokken. Voor betonzuilen en blokken zijn in Deltares (2009) de volgende belastingfuncties afgeleid:

Zuilen, $\xi_{op} < 2$:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = f \xi_{op}^{-1/3} \Rightarrow \Delta D = \frac{H_s \xi_{op}^{1/3}}{f} = \frac{H_s}{f} \left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / (1,56 T_p^2)}} \right)^{1/3} = \frac{1,08}{f} \cdot \left(H_s^{5/2} T_p \tan \alpha \right)^{1/3} \quad (3.2)$$

Zuilen, $\xi_{op} > 2$:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = f \cdot 2^{-1/3} - 1 + \xi_{op} / 2 \Rightarrow \Delta D = \frac{H_s}{f \cdot 2^{-1/3} - 1 + \xi_{op} / 2} \quad (3.3)$$

Blokken:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = F \xi_{op}^{-2/3} \Rightarrow \Delta D = \frac{H_s \xi_{op}^{2/3}}{F} = \frac{H_s}{F} \left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / (1,56 T_p^2)}} \right)^{2/3} = \frac{1,16}{F} \cdot \left(H_s T_p \tan \alpha \right)^{2/3} \quad (3.4)$$

Hierin is H_s de significante golfhoogte in [m], T_p de piekperiode in [s], Δ de relatieve dichtheid [-], D de dikte van de toplaag in [m], F een constructie-afhankelijke constante [-], ξ_{op} de brekerparameter [-] en α de taludhelling in [°].

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de coëfficiënten voor de vereenvoudigde belastingfunctie $Z=H_s^a T_p^b \cos(\beta)^c$ voor blokken en zuilen zoals voorgesteld in verschillende referenties. Het valt op dat er sprake is van een grote variatie in de coëfficiënten. Dit wordt waarschijnlijk deels veroorzaakt door de verschillende typen steenzetting welke onderzocht zijn. Met name de door Deltares (2009) gepresenteerde coëfficiënten wijken significant af van de rest van de overige onderzoeken. De coëfficiënten uit Deltares (2009) zijn, nadat deze gedeeld zijn door zes, echter gelijk aan Deltares (2011a). Verder wordt door Deltares (2009) onderscheid gemaakt tussen situaties met lange en korte leklengte (voor het gemak gedefinieerd als respectievelijk zuilen en blokken). Deltares (2009) geeft aan dat de belastingfunctie voor zuilen en golfsteilheden (s_{op}) kleiner dan 0,02 complex is.

Bron	a	b	c	Opmerking
HKV (2008)	0,667	0,667	-	
Deltares (2011a)	5/6	1/3	2/3	Geldig voor $s_{op} > 0,02$, $s_{op} < 0,02$ wordt als complex beschouwd
Svasek (2008)	1 (2)	1 (1)	-	Tussen haakjes voor situaties waarvoor geldt: $H_s * \xi^2 / \text{lekhooft} < 28$
Deltares (2009)	5	2	4	Zuilen ($s_{op} > 0,02$), $s_{op} < 0,02$ is complex
Deltares (2009)	1	1	1	Blokken

Tabel 3.1 Overzicht coëfficiënten steenzetting in de golfklapzone

3.2.2 Asfalt in golfklapzone

Het belastingniveau voor asfalt in de golfklapzone is complex en maakt onderdeel uit van het computer-model GOLFKLAP. Voor een gedetailleerde beschrijving van de rekenmethode wordt verwezen naar TAW (2002). De rekenmethode maakt gebruik van zowel de golfhoogte als de golfperiode. De golfhoogte wordt gebruikt om de belasting te bepalen (hoe groter hoe meer belasting). De golfperiode wordt gebruikt om het aantal belastingswisselingen te bepalen en daarmee de mate van vermoeiing (hoe kleiner de golfperiode, hoe meer belastingwisselingen en hoe sterker de vermoeiing).

Voor asfalt in de golfklapzone worden door drie referenties (HKV (2008), Svasek (2008) en Svasek (2010)) verschillende coëfficiënten gegeven, zie Tabel 3.2. De overige onderzoeken geven geen belastingfunctie voor asfalt in de golfklapzone. Geen van de onderzoeken geeft informatie aangaande de invloed van de hoek van golfval. Opvallend is het feit dat HKV (2008) en Svasek (2010) geen afhankelijkheid van de periodemaat meenemen, terwijl in Svasek (2008) wel een afhankelijkheid van de periodemaat wordt meegenomen. Verder geven HKV (2008) en Svasek (2010) verschillende coëfficiënten voor "a". De beide sets van coëfficiënten leiden echter tot eenzelfde rangorde van belastingen omdat de sets gelijk zijn aan elkaar indien HKV (2008) gedeeld wordt door 1,6.

Bron	a	b	c	Opmerking
HKV (2008)	1,6	0	-	
Deltares (2011a)	-	-	-	
Svasek (2008)	2	1	-	
Svasek (2010)	1	0	-	
Deltares (2009)	-	-	-	

Tabel 3.2 Overzicht coëfficiënten belastingfunctie asfalt in de golfklapzone

3.2.3 Grasmatt golfklapzone

Het belastingniveau voor een grasmatt in de golfklapzone wordt in Rijkswaterstaat (2007) gegeven als:

$$H_r = (0,5 \cdot H_s^{-0,25} \cdot T_p^{0,5}) \cdot H_s \quad (3.5)$$

Tabel 3.3 laat zien dat drie verschillende onderzoeken tot drie verschillende sets van coëfficiënten hebben geleid, al dan niet gebaseerd op Rijkswaterstaat (2007). Geen van deze sets bevat informatie over de te hanteren coëfficiënt voor het verdisconteren van de hoek van golfinval. HKV (2008) en Deltares (2011a) presenteren schijnbaar verschillende factoren, welke echter wel dezelfde verhouding tussen H_s en T_p in de vereenvoudigde belastingfunctie geven.

Bron	a	b	c	Opmerking
HKV (2008)	1,5	1	-	
Deltares (2011a)	0,75	0,5	-	
Svasek (2008)	2	1	-	Geldig voor klei
Deltares (2009)	-	-	-	

Tabel 3.3 Overzicht coëfficiënten belastingfunctie grasmatt in de golfklapzone

3.2.4 Grasmatt oploopzone

Het belastingniveau voor een grasmatt in de golfoploopzone wordt in Rijkswaterstaat (2007) gedefinieerd als:

$$v_r = 700 \cdot H_s / T_p \cdot (0,085 - H_s / L_{op}) \cdot (1 - z / z_q)^{0,5} \cdot \tan \alpha_0 \quad (3.6)$$

Hierin is L_{op} de diepwatertgolfengte op basis van de piekperiode in [m], z de hoogte van het te toetsen punt ten opzichte van het Toetspeil + toeslagen in [m] en z_q de golfoploophoogte behorende bij een oploopdebiet q van 0,1 l/s/m op een oneindig lang talud met een helling gelijk aan het buitentalud ten opzichte van Toetspeil+toeslagen in [m].

De beschouwde onderzoeken in de literatuurstudie bevatten geen van alle coëfficiënten voor de vereenvoudigde belastingfunctie voor een grasmatt in de oploopzone, zie Tabel 3.4. Deltares (2011a) geeft een complexe belastingfunctie voor de grasmatt in de oploopzone, welke niet vertaald is naar de individuele coëfficiënten. Geen van de beschouwde onderzoeken presenteert een relatie tussen belasting en hoek van golfinval.

Bron	a	b	c	Opmerking
HKV (2008)	-	-	-	
Deltares (2011a)	-	-	-	Complex: $H_s / T_p (59,5 - 448,43 H_s T_p^2) \tan \alpha$
Svasek (2008)	-	-	-	
Deltares (2009)	-	-	-	

Tabel 3.4 Overzicht coëfficiënten voor belastingfunctie grasmatt in de oploopzone

3.2.5 Breuksteen

In Svasek (2010) wordt het belastingsniveau voor breukstenen taludbekleding gedefinieerd als (gebaseerd op Van der Meer, CIRIA 2007):

$$\frac{\sqrt{1,56} \cdot \tan \alpha}{c_{pl} \cdot P^{0,18}} \cdot S_d^{-0,2} \cdot T_{storm}^{0,1} \cdot H_s^{0,75} \cdot T_m^{0,4} \quad (3.7)$$

Hierin is c_{pl} een dimensieloze coëfficiënt, P de doorlatendheid [-], S_d het schadegetal [-], T_{storm} de stormduur in [s] en T_m de gemiddelde golfperiode in [s].

Voor de vereenvoudigde belastingfunctie voor breuksteen zijn vier, behoorlijk uiteenlopende, sets van coëfficiënten afgeleid, zie Tabel 3.5. Slechts voor één set van coëfficiënten is ook een coëfficiënt "c" gespecificeerd voor de invloed van de hoek van golfinval. Verder lijkt er een discrepantie te zitten in de interpretatie van de coëfficiënten zoals deze in Hydra-Q zijn geïmplementeerd: de handleiding van Hydra-Q (HKV 2008) geeft andere coëfficiënten dan de coëfficiënten aangereikt door HKV in een mailcorrespondentie tussen J. Groeneweg en D. van Haaren.

Bron	a	b	c	Opmerking
HKV (2008)	0,75	0,5	-	Formeel Hydra-Q 1.2a
Deltares (2011a)	1	1	1	
Svasek (2008)	-	-	-	
Svasek (2010)	0,75	0,4	-	
Deltares (2009)	-	-	-	
Pers. com. HKV ¹	2	0	-	Volgens HKV (DvH) in Hydra-Q1.2

Tabel 3.5 Overzicht coëfficiënten voor belastingfunctie breuksteen

3.2.6 Afschuiven bekleding (asfalt/steenzetting)

In Rijkswaterstaat (2008) worden rekenregels gepresenteerd voor de toetsing op afschuiven van bekleding op respectievelijk "zand" en "klei":

"zand":

$$\Delta D + b_f > \min \left\{ 0,16 \cdot H_s^{0,2} \cdot T_p^{1,6} \cdot (\tan \alpha)^{0,8}; 1,5 \cdot H_s \right\} - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan \alpha) \cdot D_{15} \cdot T_p^{0,5} \quad (3.8)$$

"klei":

$$\frac{H_s}{(\Delta D)_{bekleding} \cdot \cos \alpha} \leq 3 \quad (3.9)$$

Hierin is D de dikte van de toplaag in [m], b_f de dikte van de filterlaag in [m] en D_{15} de korreldiameter die door 15% van het onderliggende zand wordt overschreden [m].

¹ Personal communication with HKV (Dirk van Haren) d.d. 27 januari 2011. Emailing: Onbekende belastingfuncties Q-variant, from d.vanhaaren@hkv.nl to Jacco.Groeneweg@Deltares.nl

Voor het afschuiven van asfalt zijn vier sets van coëfficiënten voor de vereenvoudigde belastingfunctie beschikbaar, zie Tabel 3.6, met als wezenlijke verschil het al dan niet meenemen van de periodemaat in de belastingfunctie. Svasek (2008) geeft aan dat de periodemaat met de tweede macht dient te worden meegenomen, terwijl de overige sets de invloed van de periodemaat niet meenemen. Het niet meenemen van de periodemaat lijkt volgens pers. comm. HKV¹ niet juist te zijn. Het verschil tussen het wel en niet meenemen van de periodemaat wordt veroorzaakt door het verschil in beschouwde ondergrond: in geval van toplaag op kleikern of kleilaag speelt de periodemaat geen rol, in andere gevallen wel.

Bron	a	b	c	Opmerking
HKV (2008)	-	-	-	
Deltares (2011a)	1	0	2/3	
Svasek (2008)	1	2	-	
Svasek (2010)	1	0	-	
Deltares (2009)	1	0	-	

Tabel 3.6 Overzicht coëfficiënten voor belastingfunctie afschuiven bekleding

3.3 Voorstel belastingfuncties

3.3.1 Steenzetting (betonzuilen en blokken)

Blokken

Op basis van de beschikbare onderzoeken kan worden gesteld dat voor steenzetting de meest recente analyse van de belastingsfunctie is gepresenteerd in Deltares (2009) en dat deze is overgenomen in Deltares (2011a). De analyse heeft geresulteerd in een voorstel voor een (op elkaar afgestemde) set van coëfficiënten "a=1", "b=1" en "c=1" voor blokken. Het voorstel is om deze resultaten voor blokken te handhaven voor gebruik in Hydra-K-Q. Vanwege het feit dat de belastingsfunctie (vergelijking 3.4) continu stijgend is voor zowel golfhoogte als periode, zal het hanteren van vergelijking 3.1 met deze coëfficiënten tot exact dezelfde selectie van stormen (en dus Hydraulische Randvoorwaarden) leiden als wanneer de complexe belastingfunctie zou zijn gehanteerd. Hierdoor wordt ten gevolge van de toepassing van een vereenvoudigde belastingfunctie geen onnauwkeurigheid geïntroduceerd.

Zuilen

Deltares (2009) maakt voor betonzuilen onderscheid tussen situaties met $s_{op} \geq 0,02$ en $s_{op} < 0,02$. Formeel wordt onderscheid gemaakt op basis van ξ_{op} . Dit criterium is, gebruik makend van een taludhelling van $\tan\alpha=1/3,5$ omgezet² naar een criterium op basis van s_{op} . De reden hiervoor is dat hiermee het criterium volledig in golfcondities wordt uitgedrukt en daarmee beter aansluit bij de Q-variant. Met behulp van een eenvoudige Hydra-K-Q benadering (een tool voor het analyseren van Hydra-K uitvoer) in combinatie met de coëfficiënten gepresenteerd in Deltares (2009) is in het onderhavige onderzoek onderzocht of er fundamenteel andere stormen (met andere golfhoogten en perioden) worden geselecteerd voor beide situaties. Als zou blijken dat dit tot een vergelijkbare selectie van stormen leidt (met vergelijkbare golfcondities), dan zou de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ ook kunnen worden gehanteerd voor situaties met $s_{op} < 0,02$.

2. De Q-variant maakt geen gebruik van informatie aangaande de taludhelling. De keuze voor een specifieke (algemene) taludhelling heeft dan ook geen invloed op de resultaten van de Q-variant.

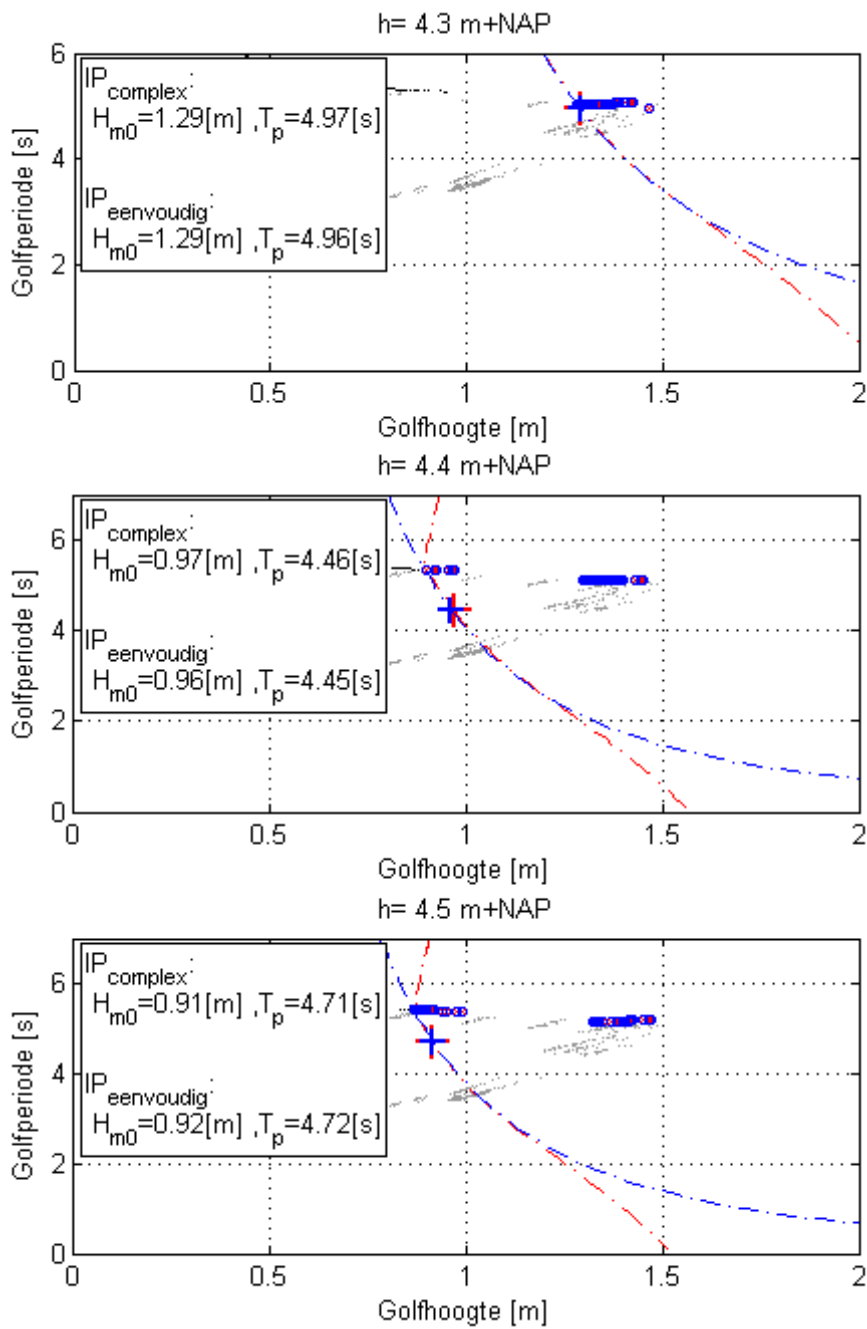
Figuur 3.2 geeft het verschil weer tussen het toepassen van de complexe belastingfunctie en de eenvoudige belastingfunctie. Figuur 3.2 heeft op de horizontale as de golfhoogte staan en op de verticale as de golfperiode. De grijze punten geven de golfcondities voor iedere storm in de Hydra-K database voor de beschouwde locatie (in dit geval de zuidkust van Ameland). De zwarte punten zijn de golfcondities behorende bij die stormen waarvoor geldt dat deze een piekwaterstand hebben groter of gelijk aan de rekenwaterstand. De rode kruisjes ('x') geven vervolgens 50 stormen weer welke een belasting hebben groter dan of gelijk aan de gevonden S_{50} (zie toelichting in hoofdstuk 2). Op basis van deze stormen wordt vervolgens het illustratiepunt bepaald (rode '+'), dat gelegen is op de faalgrens gebaseerd op de complexe belastingfunctie (rode '-.-' lijn). De golfcondities behorende bij het resulterende illustratiepunt zijn gepresenteerd in de linkerbovenhoek.

Figuur 3.2 bevat ook de resultaten van het toepassen van de vereenvoudigde belastingfunctie, met coëfficiënten geldig voor $s_{op} > 0,02$. De blauwe cirkels geven de golfcondities van de 50 stormen met een belasting groter dan of gelijk aan de S_{50} . De blauwe '-.-' lijn geeft de faalgrens volgens de vereenvoudigde belastingfunctie en de blauwe '+' geeft het resulterende illustratiepunt weer. De hierbij behorende golfcondities zijn gepresenteerd in de linkerbovenhoek.

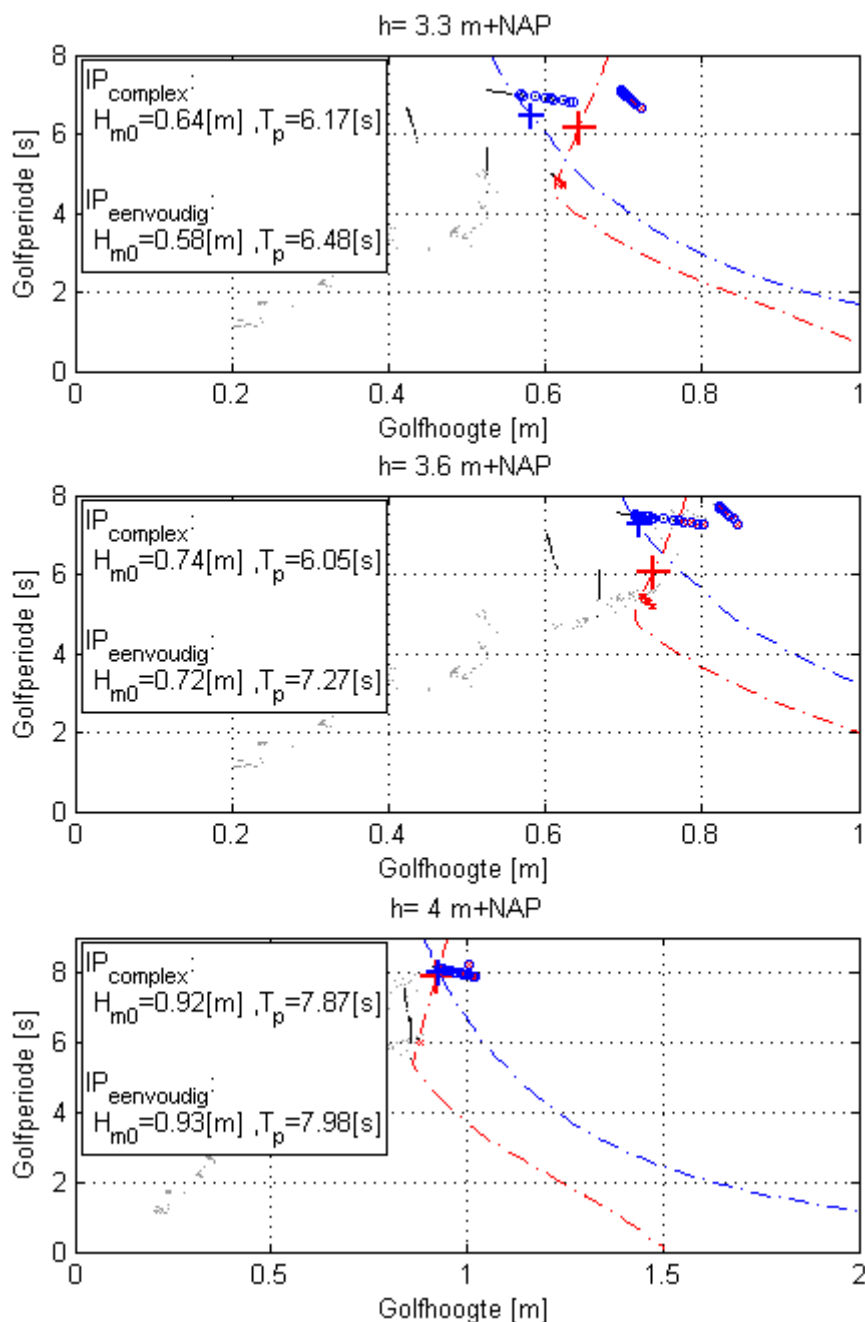
Allereerst is uit Figuur 3.2 duidelijk op te maken dat de vereenvoudigde belastingfunctie niet tot dezelfde faalgrens leidt als de complexe belastingfunctie (vergelijk de rode en de blauwe '-.-' lijnen). Voor grotere golfsteilheden ($s_{op} > 0,10$) ontstaan verschillen in de faalgrens. Er zijn echter geen locaties waar golfsteilheden van 0,10 of meer optreden, waardoor deze afwijking geaccepteerd kan worden. Daarnaast verschillen de faalgrenzen voor kleinere golfsteilheden ($s_{op} < 0,02$), zoals zichtbaar is bij een rekenwaterstand van NAP +4,4 meter en NAP +4,5 meter. Deze kleinere golfsteilheden kunnen voorkomen, onder meer op locaties waar de bijdrage van golfdoordringing vanuit de Noordzee sterker is dan de lokale windgroei. Voor Ameland (gebruikt voor Figuur 3.2) is echter geen sprake van een dergelijk situatie.

Als gevolg van het feit dat de golfcondities voor Ameland tussen $s_{op} 0,02$ en $s_{op} < 0,10$ liggen, verschillen de berekende illustratiepunten en bijbehorende golfcondities voor de complexe en vereenvoudigde belastingfunctie nauwelijks van elkaar. Een nadere analyse heeft uitgewezen dat dit ook geldt voor (willekeurig geselecteerde) locaties aan de zuidzijde van Texel, de gesloten kust en in de Westerschelde. Voor al deze locaties geldt dat de optredende golfcondities binnen deze ranges vallen en dat de toepassing van de vereenvoudigde belastingfunctie tot nagenoeg dezelfde resultaten leidt als de toepassing van de complexe belastingfunctie.

Een uitzondering op het bovenstaande is een locatie gelegen aan de Friese Kust. Voor deze locatie geldt dat er sprake is van veel stormen waarbij de golfsteilheid aan de teen van de dijk lager is dan 0,02. Figuur 3.3 laat zien dat voor deze locatie bij specifieke waterstanden de golfcondities behorende bij de stormen met een waterstand groter of gelijk aan de rekenwaterstand juist tussen de faalgrens van de complexe belastingfunctie en de vereenvoudigde belastingfunctie in vallen. Hierdoor ontstaat een andere selectie van stormen welke tot een belasting groter of gelijk dan S_{50} leiden. Deze andere selectie van stormen leidt vervolgens tot een afwijkend illustratiepunt. Voor deze locatie houdt dit in dat de golfcondities, bepaald met de vereenvoudigde belastingfunctie, 10 tot 20% kunnen afwijken van de golfcondities bepaald met de vereenvoudigde belastingfunctie.



Figuur 3.2 Golffoogte en -periode van de stormen in het faalgebied voor verschillende waterstanden, locatie zuidzijde Ameland, bekledingstype betonzuilen

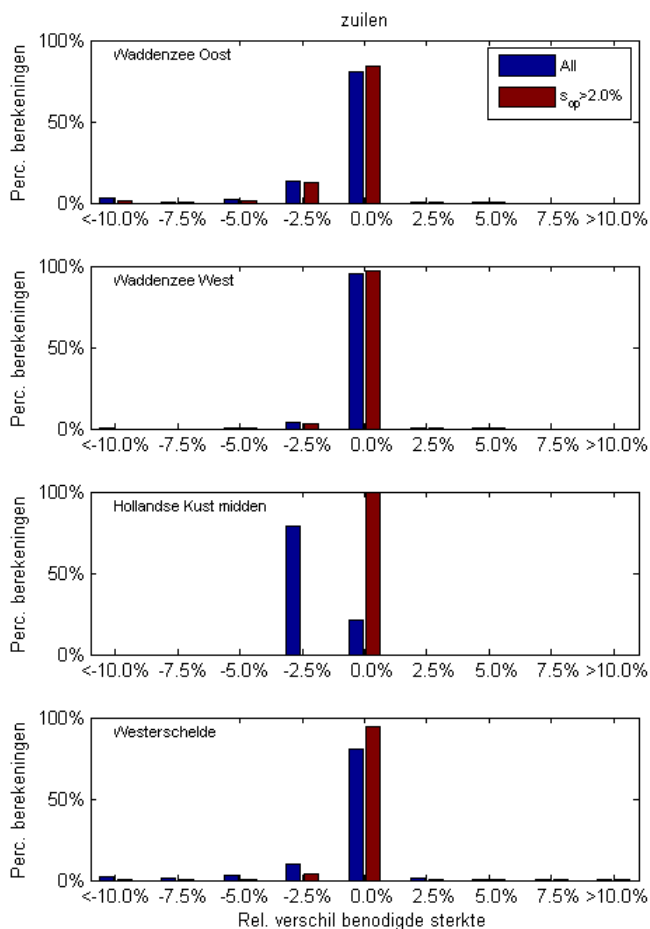


Figuur 3.3 Golffoogte en -periode van de stormen in het faalgebied voor verschillende waterstanden, locatie Friese Kust, bekledingstype betonzuilen

Op basis van Figuur 3.3 is vastgesteld dat er grote verschillen kunnen optreden in de Hydraulische Randvoorwaarden bepaald op basis van de complexe belastingfunctie en de vereenvoudigde belastingfunctie (vergelijking 3.1) indien sprake is van golfsteilheden van $s_{op} < 0,02$. Een dergelijke situatie doet zich ondermeer voor langs de Friese kust, zie Figuur 3.3. Onderzocht is voor hoeveel locaties (en rekenwaterstanden) sprake is van $s_{op} < 0,02$. Hiervoor zijn met een vereenvoudigde versie van Hydra-K berekeningen uitgevoerd voor alle locaties in de deelgebieden "Waddenzee Oost", "Waddenzee West", "Hollandse Kust Midden" en "Westerschelde" en voor rekenwaterstanden van NAP +1 meter tot en met NAP +5 meter met stappen van 1 meter. De berekende golfcondities bij het illustratiepunt voor zowel

complexe als vereenvoudigde belastingfunctie zijn vervolgens omgezet naar de benodigde sterkte van de bekleding (steendikte) op basis van de complexe belastingfunctie. Indien sprake is van een verschil in de benodigde sterktes van de bekleding, dan kan het hanteren van de vereenvoudigde belastingfunctie tot een ander toetsresultaat leiden als wanneer de complexe belastingfunctie was gebruikt voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden.

Figuur 3.4 presenteert per deelgebied het percentage berekeningen (combinaties van locaties en rekenwaterstanden) als functie van het relatieve verschil in de benodigde sterkte. De blauwe staven geven het aantal berekeningen als alle berekeningen worden beschouwd, de rode staven geven het aantal berekeningen indien alleen die situaties met $s_{op} > 0.015$ worden beschouwd. De afbeelding laat zien dat, indien alle berekeningen worden beschouwd, het aantal berekeningen met een afwijking van 10% of meer circa 2,5% bedraagt. Nadere analyse heeft uitgewezen dat het merendeel van deze afwijkingen voort komt uit het optreden van golfcondities met $s_{op} < 0,02$ (zoals toegelicht bij Figuur 3.3). Figuur 3.4 bevestigt deze conclusie in algemene zin: er zijn nagenoeg geen berekeningen meer die een verschil in benodigde sterkte van meer dan 10% laten zien indien situaties met $s_{op} < 0,02$ buiten beschouwing worden gelaten.



Figuur 3.4 Percentage berekeningen als functie van het relatieve verschil in benodigde sterkte voor bealstingfunctie "zuilen". Blauw: alle berekeningen, rood: alleen berekeningen met $s_{op} > 0,02$.

Er kan op verschillende manieren worden omgegaan met het feit dat er andere stormen worden geselecteerd (en dus andere hydraulische randvoorwaarden worden bepaald) op basis van de verschillende belastingfuncties:

- Implementatie van een hybride (complexere) belastingfunctie
- Toepassen van twee belastingfunctie voor “Steenzetting zuilen”
- Toepassen van één belastingfunctie en acceptatie resulterende onnauwkeurigheid

Deze drie mogelijkheden worden hierna afzonderlijk besproken.

1 Implementatie van een hybride (complexere) belastingfunctie

Een mogelijke oplossing voor het genereren van golfcondities voor betonzuilen met behulp van Hydra-K-Q zou het implementeren van een hybride (meer complexe) belastingfunctie kunnen zijn. Deze hybride belastingfunctie dient dan onderscheid te maken tussen situaties met $s_{op} < 0,02$ en $s_{op} > 0,02$. Dit is echter niet wenselijk omdat dit naar alle waarschijnlijkheid zal leiden tot rekentechnische problemen (ten gevolge van het zogenaamde irregulier faalgebied, zie HKV (2010a)), wat het gevolg is van een discontinuïteit in de belastingfunctie bij (ongeveer) $s_{op} = 0,02$. Dit is niet wenselijk omdat dit zal leiden tot situaties waarin Hydra-K-Q geen golfcondities kan bepalen

2 Toepassen van twee belastingfuncties voor “Steenzetting zuilen”

Een alternatieve aanpak is het genereren van een waarschuwing in Hydra-K-Q voor die gevallen waarvoor geldt dat het gebruik van de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ leidt tot een selectie van waarnemingen welke een s_{op} waarde heeft van minder dan 0,02. In dat geval zou namelijk de belastingfunctie voor $s_{op} < 0,02$ gehanteerd moeten worden. Het omgekeerde kan ook optreden: het gebruik van de belastingfunctie voor $s_{op} < 0,02$ leidt tot een selectie van stormen met een s_{op} waarde van meer dan 0,02. Feitelijk dient er dan getoetst te worden met twee belastingfuncties voor één bekledingstype.

De coëfficiënten voor $s_{op} > 0,02$ worden overgenomen van Deltares (2009). De coëfficiënten voor $s_{op} < 0,02$ zijn bepaald door de belastingfunctie voor steenzetting zuilen ($S_{op} < 0,02$) sterk te vereenvoudigen zodanig dat deze gereduceerd is tot:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = f \cdot 2^{-1/3} - 1 + \xi_{op}/2 \Rightarrow \Delta D = \frac{H_s}{f \cdot 2^{-1/3} - 1 + \xi_{op}/2}$$

$$\Rightarrow \Delta D = \frac{H_s}{\xi_{op}} = H_s \left(\frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / (1,56T_p^2)}} \right)^{-1} \quad (3.10)$$

Dit leidt tot de set coëfficiënten “a=1,5” en “b=-1”. Het toepassen van deze set van coëfficiënten voor een situatie met golven waarvoor geldt $s_{op} < 0,02$ leidt echter tot een significant andere selectie van stormen dan wanneer de selectie wordt gebaseerd op de volledige (complexe) belastingfunctie (hierin is “f=6” en “tanα=1/3,5” aangenomen). De invloed van de periodemaat is (te) groot in deze gevallen. Aanpassing van de coëfficiënt “b” van -1 naar -0,25 leidt (voor situaties met $s_{op} < 0,02$) tot eenzelfde selectie van stormen als voor de complexe belastingfunctie (vergelijking (3.3)). De waarde “b=-0,25” is vastgesteld door de invloed van de periodemaat te reduceren zodanig dat dezelfde stormen geselecteerd worden met zowel de eenvoudige als de complexe belastingfunctie.

Het effect van de bovengenoemde vereenvoudiging wordt dan gecorrigeerd door de aangepaste coëfficiënt "b". Het effect van de aanpassing van de coëfficiënt "b" van -1 naar -0,25 is getoetst voor drie locaties. Hieruit bleek dat deze aanpassing leidt tot een selectie van stormen overeenkomstig de complexe belastingfunctie.

De te hanteren coëfficiënten in de vereenvoudigde belastingfunctie voor betonzuilen zijn dan:

- $s_{op} > 0,02$: $a=5$, $b=2$, $c=4$
- $s_{op} < 0,02$: $a=1$, $b=-0,25$, $c=2/3$

3 Toepassen van één belastingfunctie en acceptatie van resulterende onnauwkeurigheid

Tot slot kan, in lijn met de toepassing van Hydra-Q (de voorganger van de hier onderzochte Q-variant, zie HKV (2008)), gekozen worden voor het hanteren van één belastingfunctie. Dit zou dan de vereenvoudigde belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ moeten zijn. Het hanteren van deze vereenvoudigde belastingfunctie leidt voor situaties waarvoor geldt $s_{op} < 0,02$ tot een over- of onderschatting van de golfbelasting. Dit is echter ook al het geval in Hydra-Q en het toepassen van één belastingfunctie in Hydra-K-Q is daarmee net zo nauwkeurig als Hydra-Q (daarentegen was Hydra-Q ook niet correct juist op dit punt).

Op basis van de voorgeschiedenis van de Q-variant, de huidige kennis en het huidige instrumentarium (Hydra-K versie 3.6.1) wordt geadviseerd om voor "Steenzetting zuilen" alleen de belastingsfunctie voor $s_{op} > 0,02$ te hanteren. Hiermee wordt de onnauwkeurigheid in de golfcondities voor situaties met $s_{op} < 0,02$ geaccepteerd (net als in het verleden binnen Hydra-Q is gedaan). Hierbij wordt opgemerkt dat het aantal locaties waar sprake is van veel stormen met een $s_{op} < 0,02$ beperkt is (minder dan 2.5% van de locaties). Ten opzichte van de bestaande Q-variant wordt nu echter wel de hoek van golfval meegenomen, waardoor de huidige aanpak (ondanks de onnauwkeurigheid voor situaties gedomineerd door $s_{op} < 0,02$) een verbetering is ten opzichte van de voorgaande aanpak.

Aanbevolen wordt om de Q-variant een waarschuwing te laten genereren indien de golfcondities bepaald met de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ resulteren in $s_{op} < 0,02$. In het geval dat een dergelijke waarschuwing wordt gegenereerd kunnen de met Hydra-K-Q bepaalde Hydraulische Randvoorwaarden niet zondermeer worden gebruikt voor het uitvoeren van een toetsing: er dient een geavanceerde toets plaats te vinden. Optioneel zou Hydra-K-Q kunnen worden aangepast zodat een geavanceerde gebruiker in voorkomende gevallen alsnog met de belastingfunctie voor $s_{op} < 0,02$ golfcondities kan bepalen (dit vereist echter dat het mogelijk wordt om negatieve waarden voor de coëfficiënt "b" te hanteren).

3.3.2 Asfalt in golfklapzone

Op basis van TAW (2002) kan gesteld worden dat het aantal golven (en daarmee de golfperiode) wel degelijk van invloed is op de stabiliteit van asfalt in de golfklapzone. Een analyse van resultaten uit het computermodel GOLFKLAP laat zien dat in sommige gevallen voor de invloed van de golfperiode "b=-0,2" gehanteerd kan worden in combinatie met "a=1". Het blijkt echter dat de coëfficiënt "b" constructieafhankelijk is. Op basis van expert judgement wordt daarnaast gesteld dat de bijdrage van de golfperiode klein is ten opzichte van de bijdrage van de golfhoogte, wat pleit voor het hanteren van de coëfficiënten "a=1" en "b=0".

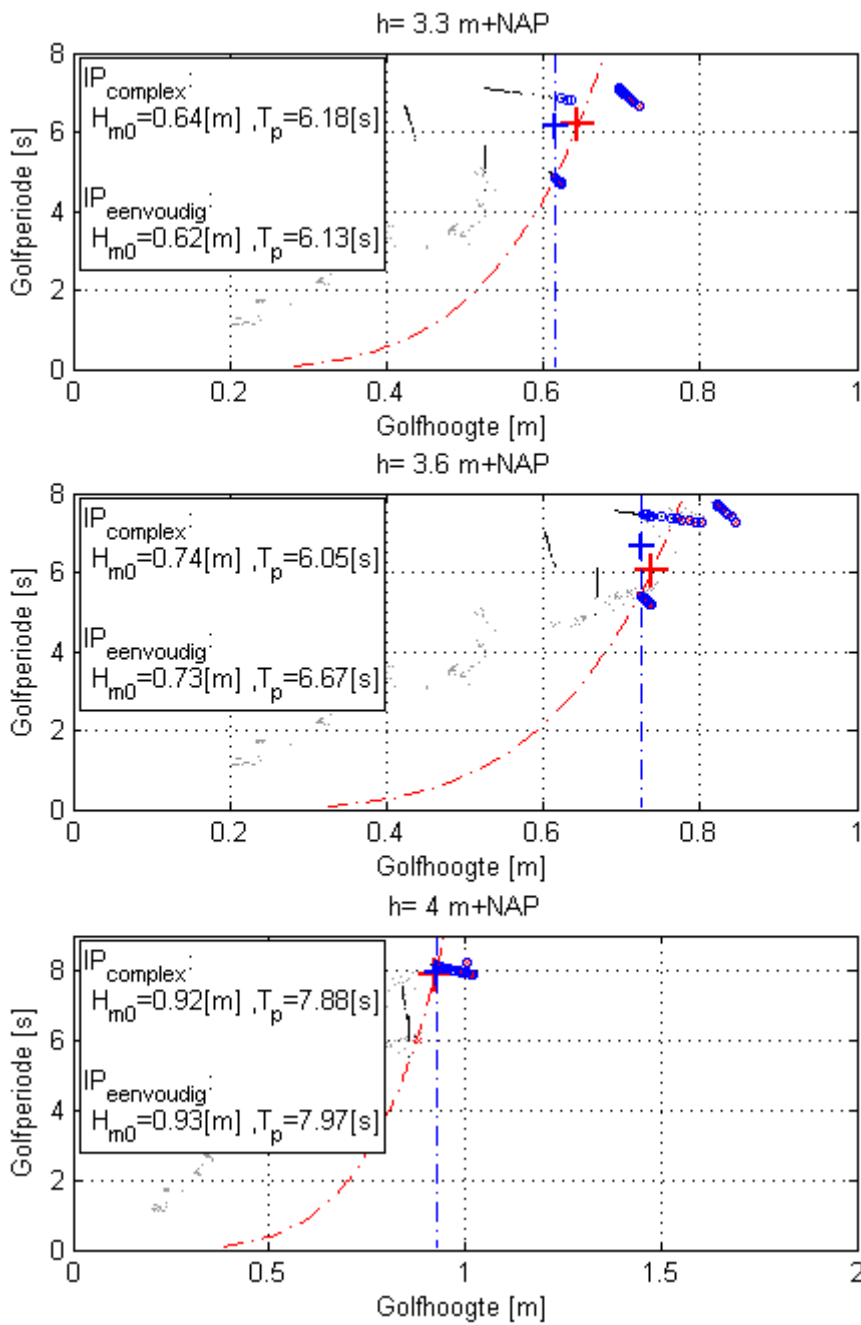
Feitelijk is dan de vraag: wat is de invloed van de coëfficiënt “b” op de selectie van stormen, wetende dat deze coëfficiënt een waarde moet hebben van $-0.2 < b < 0$ (bij “a=1”). Voor een drietal profielen, met respectievelijk aflandige windrichting, aanlandige windrichting en een combinatie van beide, is vastgesteld dat de variatie van de waarde van de coëfficiënt “b” tussen -0,2 en 0 ofwel nauwelijks van invloed is op de selectie van stormen binnen Hydra-K-Q ofwel leidt tot een selectie van stormen welke leidt tot een overschatting van de belasting (conservatief), zie bijvoorbeeld Figuur 3.5.

Figuur 3.5 laat de selectie van stormen zien voor een locatie langs de Friese Kust (dijkvak 40, dijkkringgebied 6), waarbij sprake is van relatief grote golfperioden (effect van “b” op de stormselectie zou hier, indien relevant, groot moeten zijn vanwege de dominantie van relatief lange golven). Voor een algemene toelichting op de figuur wordt verwezen naar paragraaf 3.1. De rode punten zijn geselecteerd op basis van “a= 1,0 en b=-0,2” en liggen aan de rechterzijde van de bijbehorende rode faalgrens. De blauwe punten zijn geselecteerd op basis van “a=1,0 en b=0,0” en liggen aan de rechterzijde van de bijbehorende blauwe faalgrens. De afbeelding laat zien dat het verschil in stormselectie voor de meeste rekenwaterstanden beperkt is.

Uitzondering hierop is een rekenwaterstand van NAP+3,6meter waarvoor een verschil van 10% wordt gevonden in de berekende periode. Opgemerkt wordt dat dit een uitzonderlijke situatie is: voor locaties elders in de Waddenzee, de gesloten kust en de Westerschelde werden geen significante verschillen gevonden in de illustratiepunten. Voor situaties waarbij sprake is van relatieve flauwe golven ($s_{op} < 0.02$), is het illustratiepunt gevoelig voor de keuze van de coëfficiënt “b” in vergelijking 3.1. Voor deze situaties zou dan eigenlijk gebruik moeten worden gemaakt van een complexe belastingfunctie, dit is echter niet mogelijk omdat er geen analytische functie bestaat voor de belastingfunctie “asfalt in de golfklapzone”. Verder is een negatieve waarde voor de coëfficiënt “b” niet aan te bevelen omdat hierdoor weer irreguliere faalgebieden kunnen ontstaan (wat nu juist door het hanteren van vergelijking 3.1 met positieve machten zou moeten worden voorkomen). Gegeven de onzekerheid in de coëfficiënt “b” voor asfaltbekleding in de golfklapzone en de expert judgement dat de invloed van de periodemaat klein is ten opzichte van de invloed van de golfhoogte wordt dan ook aanbevolen om “b=0” te hanteren. Hierbij dient dan rekening te worden gehouden met een onnauwkeurigheid kleiner dan of gelijk aan 10% in de golfcondities indien sprake is van $s_{op} < 0,02$. Uit de analyse gepresenteerd in paragraaf 3.3.1 blijkt dat dit slechts voor orde 2,5% van de locaties het geval is. Voor situaties met $s_{op} > 0,02$ treedt deze onnauwkeurigheid niet op.

Voor de coëfficiënt “c” wordt in geen van de referenties een aanbeveling gedaan. Ten aanzien van de invloed van de golfrichting op de belasting op asfaltbekleding is geen informatie bekend. Uit conservatieve overwegingen wordt dan ook “c=0” aanbevolen, waardoor richtingsinformatie geen rol speelt bij de keuze van de golfparameters.

Net als voor het bekledingstype zuilen wordt aanbevolen om de Q-variant een waarschuwing te laten genereren indien de golfcondities, bepaald met de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$, resulteren in $s_{op} < 0,02$. In het geval dat een dergelijke waarschuwing wordt gegenereerd kunnen de met Hydra-K-Q bepaalde Hydraulische Randvoorwaarden niet zondermeer worden gebruikt voor het uitvoeren van een toetsing: er dient een geavanceerde toets plaats te vinden.



Figuur 3.5 Golffhoogte en -periode van de stormen in het faalgebied voor verschillende rekenwaterstanden, locatie Friese Kust, bekledingstype asfalt

3.3.3 Grasmat golfklapzone

De coëfficiënten “a” en “b” voor gras in de golfklapzone laten geen grote verschillen zien tussen de verschillende bronnen. Vanwege de consistentie met Hydra-Q wordt daarom aanbevolen om de getallen gepresenteerd in HKV (2008) te blijven hanteren voor gras in de golfklapzone: “a=1,5” en “b=1”. Deze coëfficiënten komen overeen met de rekenwaarde voor het belastingniveau van een grasmat in de golfklapzone. De vereenvoudigde belastingfunctie leidt daarmee tot exact dezelfde selectie van stormen en resulterende golfcondities als de complexe belastingfunctie voor grasmat in de golfklapzone.

Daar geen kennis beschikbaar is ten aanzien van het effect van schuine golfaanval wordt aanbevolen om voor de coëfficiënt “c” een waarde van 0 te hanteren (geen invloed).

3.3.4 Grasmat oplooptzone

Voor grasmat in de golfoplooptzone geeft Deltares (2011a) een complexe formulering. Deze formulering geldt voor taluddelen boven toetspeil. De belasting wordt uitgedrukt in een stroomsnelheid op een gegeven hoogte boven toetspeil, gegeven golfcondities behorende bij toetspeil. De maatgevende condities voor deze belasting komen overeen met de condities die leiden tot de hoogste golfoploop/golfoverslag: deze leiden immer ook tot de hoogste stroomsnelheden op het talud. Het ligt dan ook voor de hand om de golfcondities voor grasmat in de golfoplooptzone te bepalen met behulp Hydra-K in combinatie met het overslagcriterium. Voor de Hydra-K-Q variant worden dan ook geen coëfficiënten voorgesteld.

3.3.5 Breuksteen

Voor breuksteen geven zowel HKV (2008) als Svasek (2010) vergelijkbare coëfficiënten op. De afgeleide coëfficiënten voor breuksteen zijn van toepassing op situaties met “plunging” golven (brekende golven). In geval van dijken (met een doorlatendheidsfactor $P=0,1$ en een helling van $\tan(\alpha)=1:3,5$) geldt dat sprake is van “plunging” golven indien deze een golfsteilheid hebben van $s_{op} > 0,02$. Net als voor “Steenzetting betonzuilen” geldt dat bij $s_{op} < 0,02$ (“surging” golven) een grotere periodemaat leidt tot een afname van de belasting. Om deze reden dient dan ook, net als voor “Steenzetting betonzuilen” onderscheid te worden gemaakt tussen situaties met $s_{op} > 0,02$ en $s_{op} < 0,02$.

Net als voor “Steenzetting zuilen” geldt dat er de volgende oplossingsrichtingen zijn ten aanzien van de noodzaak om onderscheid te maken tussen $s_{op} > 0,02$ en $s_{op} < 0,02$:

- Implementatie van een hybride (complexere) belastingfunctie
- Toepassen van twee belastingfunctie voor “breuksteen”
- Toepassen van één belastingfunctie en acceptatie resulterende onnauwkeurigheid

Deze drie mogelijkheden worden hierna afzonderlijk besproken.

1 Implementatie van een hybride (complexere) belastingfunctie

Net als voor bekledingstype “Steenzetting zuilen” geldt ook voor dit bekledingstype dat het toepassen van een hybride (complexere) belastingfunctie waarschijnlijk zal leiden tot irreguliere faalgebieden. Dit is niet wenselijk omdat dit zal leiden tot situaties waarin Hydra-K-Q geen golfcondities kan bepalen.

2 Toepassen van twee belastingsfunctie voor “breuksteen”

Een alternatief voor een hybride functie is het hanteren van twee belastingsfuncties voor bekledingstype “breuksteen”. Dit houdt in dat er twee sets van coëfficiënten gehanteerd dienen te worden. Zoals te zien is in Tabel 3.5, geven HKV (2008) en Svasek (2010) beiden vergelijkbare coëfficiënten, welke van toepassing zijn op situaties met $s_{op} > 0,02$. Vanwege consistentie wordt aanbevolen om voor $s_{op} > 0,02$ de coëfficiënten uit HKV (2008) te blijven hanteren: “a=0,75” en “b=0,5” (na schaling: “a=1,0” en “b=0,67”).

Voor situaties met $s_{op} < 0,02$ zijn nieuwe coëfficiënten afgeleid:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0,13} \left(\frac{S_s}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} (\xi_{-1,0})^P \quad (3.11)$$

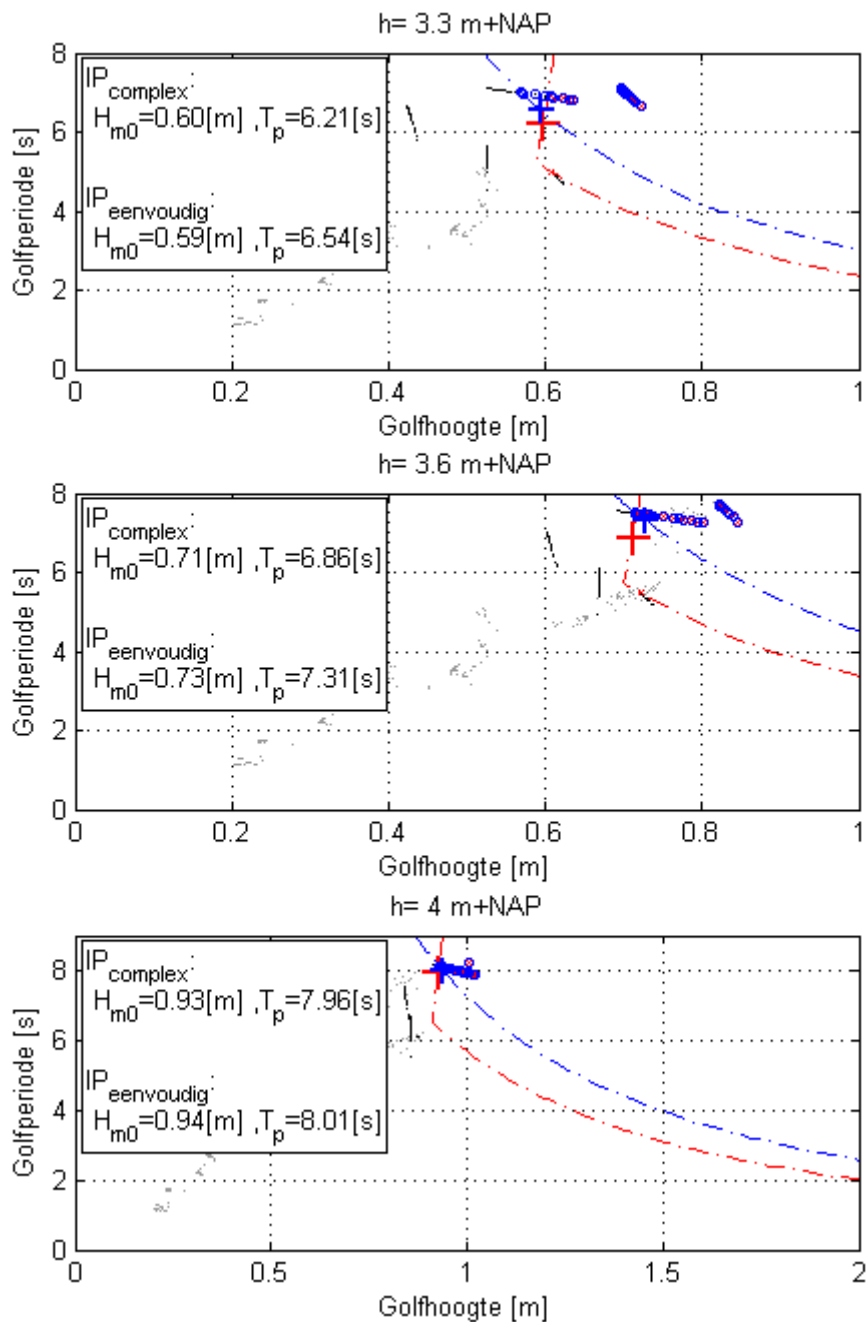
$$\Rightarrow \Delta D_{n50} = \frac{H_s}{H_s^{-0,5P} T_{m-1,0}^P} \Rightarrow \Delta D = H_s^{1+0,5P} T_{m-1,0}^{-P}$$

Voor dijken dient een permeabiliteit van $P=0,1$ aan te worden gehouden (CIRIA, 2007), wat leidt tot de coëfficiënten “a=1,05” en “b=-0,1” voor situaties met $s_{op} < 0,02$. Net als voor de bekleding “Steenzetting betonzuilen” dient er twee keer getoetst te worden indien sprake is van situaties met $s_{op} < 0,02$ (het gebruik van de coëfficiënten voor “plunging” golven in situaties met $s_{op} < 0,02$ leidt tot een significant andere selectie van stormen). Allereerst dienen de golfcondities te worden bepaald met de coëfficiënten voor $s_{op} > 0,02$. Indien de golfcondities bepaald met de coëfficiënten voor $s_{op} > 0,02$ resulteren in $s_{op} < 0,02$, dan dienen ook golfcondities te worden bepaald met de coëfficiënten voor $s_{op} < 0,02$.

Wolters en van Gent (2010) presenteert de invloed van de hoek van inval op de stabiliteit van een toplaag uitgevoerd in breuksteen. Hieruit blijkt dat de golfhoogte met $\cos(\Theta)^{1,05}$ mag worden vermenigvuldigd om de invloed van de hoek van inval mee te nemen. Hierin is Θ de hoek van golfaanval, waarbij loodrechte aanval overeen komt met $\Theta=0$. Dit komt voor $s_{op} > 0,02$ overeen met een coëfficiënt “c=0,75*1,05=0,80” (na schaling geldt “c=1,0*1,05=1,05”, afgerond “c=1,1”) voor de belastingsfunctie. Voor $s_{op} < 0,02$ leidt dit tot een coëfficiënt “c=1,05*1,05=1,10”.

3 Toepassen van één belastingsfunctie en acceptatie resulterende onnauwkeurigheid

Tot slot kan, in lijn met de toepassing van Hydra-Q (HKV, 2008), gekozen worden voor het hanteren van één belastingsfunctie. Dit zou dan de vereenvoudigde belastingsfunctie voor $s_{op} > 0,02$ moeten zijn. Het hanteren van deze vereenvoudigde belastingsfunctie leidt voor situaties waarvoor geldt $s_{op} < 0,02$ tot een over- of onderschatting van de golfbelasting. Dit is echter ook al het geval in Hydra-Q en het toepassen van één belastingsfunctie in Hydra-K-Q is daarmee net zo nauwkeurig als Hydra-Q (daarentegen was Hydra-Q ook niet correct juist op dit punt). De nauwkeurigheid van deze methode is bepaald voor een beperkt aantal locaties verdeeld over de Waddenzee, de Hollandse kust en de Westerschelde. Hierbij is de toepassing van de complexe belastingsfunctie vergeleken met het toepassen de vereenvoudigde belastingsfunctie zoals voorgesteld voor $s_{op} > 0,02$. Voor alle locaties bleek dat de optredende golfcondities een dusdanige steilheid hebben dat hiervoor de vereenvoudigde belastingsfunctie voor $s_{op} > 0,02$ kan worden toegepast. Er bleek één locatie te zijn waarvoor geldt dat de optredende golfcondities een golfsteilheid hebben van $s_{op} < 0,02$, waardoor bij toepassing van de vereenvoudigde belastingsfunctie sprake is van een onderschatting van het belastingsniveau met 10% (veelal als gevolg van een onderschatting van de periodemaat met 10%) zie Figuur 3.6.



Figuur 3.6 Golffhoogte en -periode van de stormen in het faalgebied voor verschillende rekenwaterstanden, locatie Friese Kust, bekledingstype breuksteen

Net als voor de belastingfunctie voor “Steenzetting Zuilen” wordt voor breuksteen aanbevolen om één belastingfunctie voor breuksteen te hanteren. Hierbij wordt aanbevolen de coëfficiënten afgeleid voor $s_{op} > 0,02$ te hanteren. Dit is in lijn met de werkwijze welke in het verleden gehanteerd is voor Hydra-Q, waarbij de geïntroduceerde onnauwkeurigheid voor situaties met $s_{op} < 0,02$ wordt geaccepteerd (net als voor zuilen geldt dat voor circa 2,5% van de locaties dit het geval zal zijn). Het wordt wel aanbevolen om Hydra-K-Q een waarschuwing te laten genereren voor die gevallen dat Hydra-K-Q een $s_{op} < 0,02$ berekend. In het geval dat een dergelijke waarschuwing wordt gegenereerd kunnen de met Hydra-K-Q bepaalde Hydraulische Randvoorwaarden niet zondermeer worden gebruikt voor het uitvoeren van een toetsing: er dient een geavanceerde toets plaats te vinden. Optioneel kan voor een geavanceerde gebruiker dan de mogelijkheid worden geboden om voor deze gevallen een berekening uit te voeren met de coëfficiënten bepaald voor $s_{op} < 0,02$. Ook voor breuksteen vraagt dit om het aanpassen van Hydra-K-Q zodanig dat een negatieve waarde voor “b” kan worden gebruikt.

3.3.6 Afschuiven bekleding (asfalt/steenzetting)

Voor het afschuiven van de bekleding geldt dat er twee situaties kunnen optreden: (i) bekleding op een kleilaag³ en (ii) bekleding zonder kleilaag of kleikern, zie Rijkswaterstaat (2007). In het eerste geval (“klei”) geldt dat alleen de golfhoogte van belang is in de belastingfunctie: “a=1” en “b=0”. De vereenvoudigde belastingfunctie komt in dit geval overeen met de complexe belastingfunctie, waardoor er geen onnauwkeurigheid geïntroduceerd wordt bij de toepassing van de vereenvoudigde belastingfunctie.

In het andere geval (“geen kleilaag of kleikern”) geldt dat zowel golfhoogte als golfperiode van belang zijn in de belastingfunctie. Op basis van Bosters (2008) kunnen nieuwe coëfficiënten worden afgeleid voor de belastingfunctie afschuiven bekleding op zand: “a=0,2” en “b=1,6” voor $s_{op} > 0,02$. Het feit dat deze coëfficiënten alleen geldig zijn voor $s_{op} > 0,02$ komt voort uit de toepassing van een minimum in de complexe belastingfunctie. Dit minimum leidt ertoe dat voor minder steile golven (bij benadering $s_{op} < 0,02$) een andere set van coëfficiënten gehanteerd dient te worden.

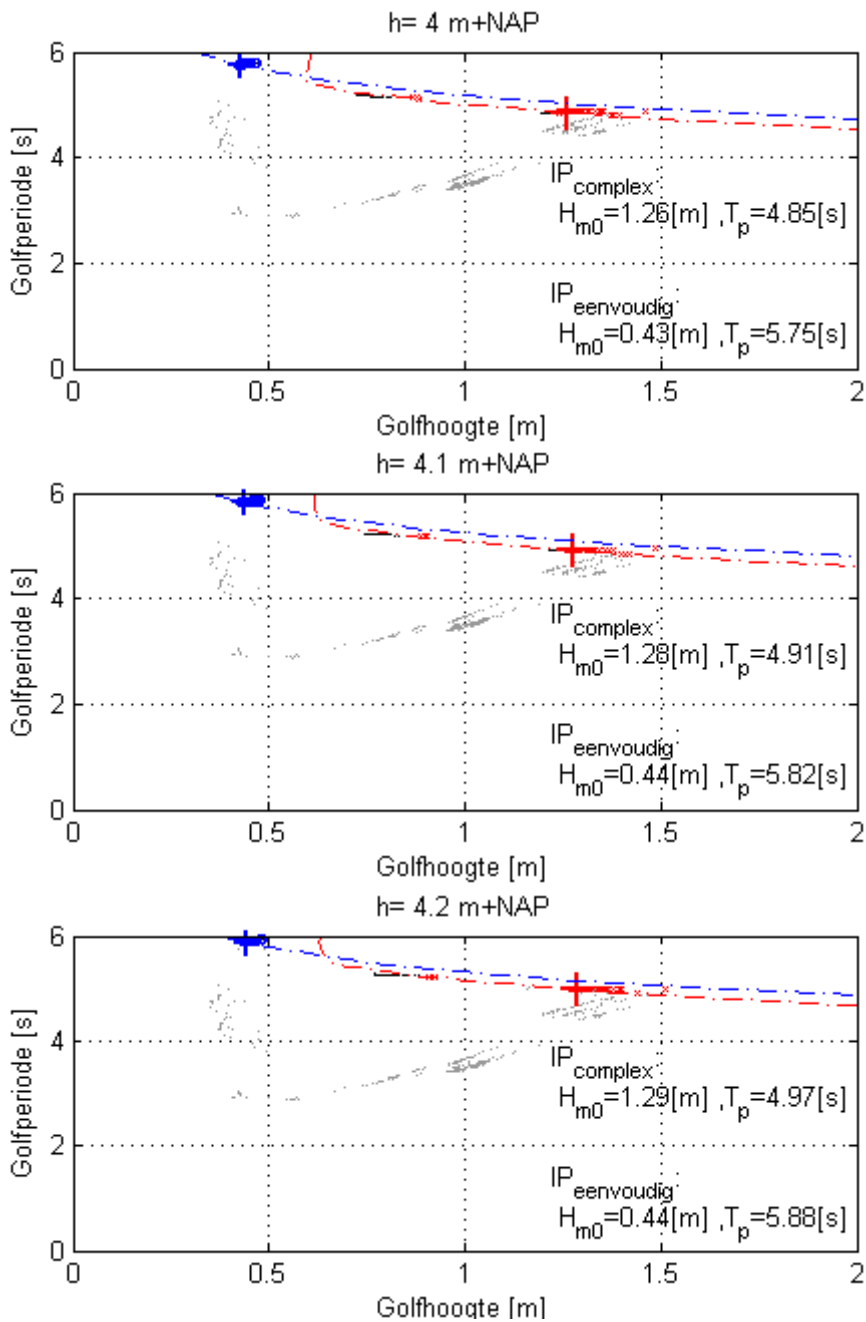
Het toepassen van de coëfficiënten die bepaald zijn voor $s_{op} > 0,02$ leidt tot een significant andere selectie van stormen voor gevallen waar sprake is van $s_{op} < 0,02$ dan wanneer de complexe belastingfunctie zou zijn toegepast. Dit is in beeld gebracht in Figuur 3.7, waarin te zien is welke stormen (uitgedrukt in golfcondities) geselecteerd worden bij toepassing van de complexe belastingfunctie (vergelijking (3.8)) en bij toepassing van de vereenvoudigde belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$. De gemiddelde golfcondities wijken veel meer dan 10% af van de complexe belastingfunctie als gevolg van het toepassen van “a=0,2” en “b=1,6”, zoals te zien is in Figuur 3.7. Dit wordt met name veroorzaakt door de kleine invloed van de golfhoogte op de belasting, waardoor flauwe golven ook meetellen bij de eenvoudige belastingfunctie terwijl dit niet het geval is voor de complexe belastingfunctie. Dit kan worden voorkomen door de relatieve bijdrage van de golfhoogte te vergroten, waardoor de faalgrens voor de eenvoudige belastingfunctie in Figuur 3.7 wat steiler gaat lopen, wat ertoe leidt dat flauwe golven geen bijdrage meer leveren aan het faalgebied..

³ indien bekleding direct op een kleikern ligt is er geen sprake van afschuiving van de bekleding

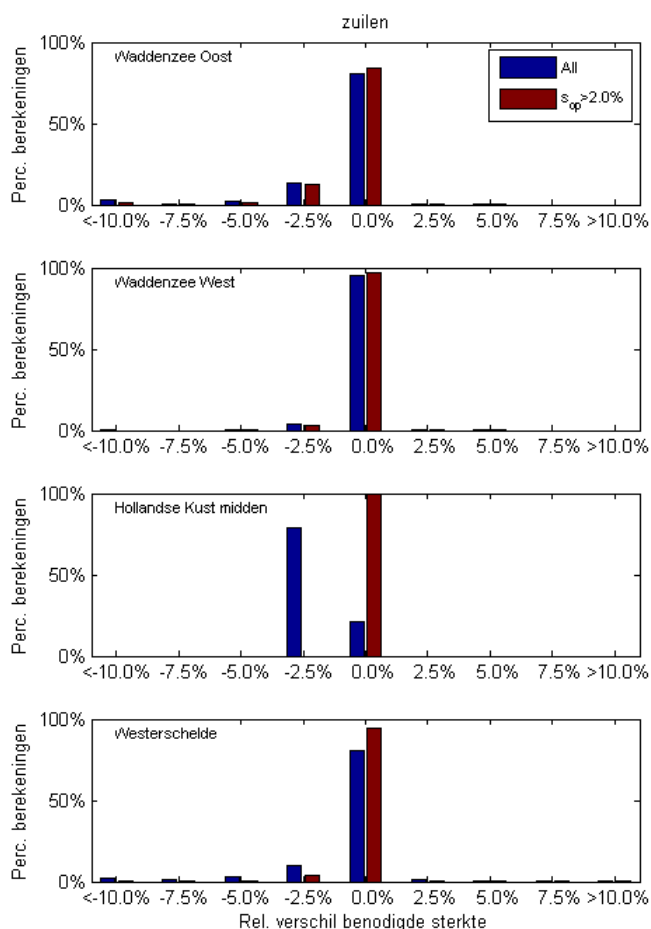
Met behulp van de vereenvoudigde versie van Hydra-K-Q is geanalyseerd voor hoeveel combinaties van locatie en rekenwaterstand sprake is van verschillende benodigde sterktes (laagdikte) bij toepassing van ofwel de complexe belastingfunctie ofwel de vereenvoudigde belastingfunctie. Figuur 3.8 laat zien dat voor meer dan 10% van de berekeningen (deelgebieden “Waddenzee Oost” en “Westerschelde”) sprake is van een significant verschil tussen benodigde sterkte volgens de vereenvoudigde en complexe belastingfunctie. Indien echter de locaties waarvoor geldt $s_{op} < 0,02$ buiten beschouwing worden gelaten, dan is het percentage locaties met een grote afwijking significant gereduceerd.

Er wordt dan ook geadviseerd om in Hydra-K-Q de coëfficiënten “a=0,2” en “b=1,6” toe te passen voor het vaststellen van de golfcondities voor het toetsen van afschuiven van bekleding op “zand”. Deze coëfficiënten gelden voor situaties met $s_{op} > 0,02$. Aanbevolen wordt om Hydra-K-Q een foutmelding te laten genereren in die gevallen dat de berekening resulteert in golfcondities waarvoor geldt $s_{op} < 0,02$. In het geval dat een dergelijke waarschuwing wordt gegenereerd kunnen de met Hydra-K-Q bepaalde Hydraulische Randvoorwaarden niet zondermeer worden gebruikt voor het uitvoeren van een toetsing: er dient een geavanceerde toets plaats te vinden. Dit zal voor circa 10% van de locaties gelden, uitgaande van het feit dat voor elk van deze locaties deze belastingfunctie van toepassing is. Het is echter de verwachting dat deze belastingfunctie relatief beperkt van toepassing zal zijn (slechts voor orde 10% van de dijkvakken), waardoor het uiteindelijke aantal locaties waarvoor geen randvoorwaarden voor deze belastingfunctie kunnen worden gegenereerd beperkt zal zijn.

Vanwege het ontbreken van kennis ten aanzien van de invloed van schuine golfaanval wordt voor zowel “klei” als “zand” een coëfficiënt “c=0” aanbevolen.



Figuur 3.7 Golfhoogte en -periode van de stormen in het faalgebied voor verschillende rekenwaterstanden, locatie zuidzijde Ameland, afschuiven bekleding



Figuur 3.8 Percentage berekeningen als functie van het relatieve verschil in benodigde sterkte voor belastingfunctie “zuilen”. Blauw: alle berekeningen, rood: alleen berekeningen met $s_{op} > 0,02$.

3.3.7 Opdrukken asfalt

Het opdrukken van asfalt treedt op door een hoge freatische lijn in het dijklichaam in relatie tot de buitenwaterstand. Deze freatische lijn wordt niet (significant) beïnvloed door aanwezige golven. Een belastingsfunctie als functie van golfkarakteristieken is daarom niet zinvol.

3.4 Conclusies en aanbevelingen belastingfuncties

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van coëfficiënten voor de vereenvoudigde belastingfunctie zoals beschreven in literatuur. Op basis van dit overzicht en enkele (eenvoudige) Hydra-K-Q berekeningen is een voorstel gedaan voor de te hanteren coëfficiënten voor Hydra-K-Q. Dit voorstel is samengevat in Tabel 3.7.

	Hydra-Q (2006)			Hydra-K-Q (2011)		
	a	b	c	a	b	c
Steenzetting (betonzuilen, $s_{op} > 0,02$)	0,667	0,667	-	1,0	0,4	0,8
Steenzetting (betonzuilen, $s_{op} < 0,02$)	0,667	0,667	-	1,0	-0,25	0,667
Steenzetting (blokken)	0,667	0,667	-	1,0	1,0	1,0
Asfalt golfklapzone	1,6	0	-	1,0	0	0
Grasmat golfklapzone	1,5	1	-	1,0	0,67	0
Breuksteen ($s_{op} > 0,02$)	0,75	0,5	-	1,0	0,67	1,1
Breuksteen ($s_{op} < 0,02$)	-	-	-	1,0	-0,1	1,1
Afschuiven bekleding (klei)	-	-	-	1,0	0	0
Afschuiven bekleding (zand)	-	-	-	0,125	1,0	0

Tabel 3.7 Overzicht coëfficiënten voor belastingfuncties in Hydra-K-Q

Voor “Steenzetting betonzuilen”, “Breuksteen” en “Afschuiven steenzetting” is vastgesteld dat er onderscheid dient te worden gemaakt tussen situaties met $s_{op} < 0,02$ en situaties met $s_{op} > 0,02$. Er zijn drie mogelijkheden om hiermee om te gaan: (i) implementatie van hybride belastingfunctie, (ii) hanteren van twee sets van belastingfuncties per bekledingstype of (iii) hanteren van de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ en negeren van over-/onderschatting in situaties met $s_{op} < 0,02$. Op basis van de voorgeschiedenis van de Q-variant, de huidige kennis, het huidige instrumentarium (Hydra-K versie 3.6.1) en praktische invulling wordt geadviseerd om in de basis alleen de belastingsfunctie voor $s_{op} > 0,02$ te hanteren. Hiermee wordt de onnauwkeurigheid in de golfcondities voor situaties $s_{op} < 0,02$ geaccepteerd (net als in het verleden binnen Hydra-Q is gedaan). Deze onnauwkeurigheid (ten gevolge van het gebruik van de vereenvoudigde belastingfunctie) is in de orde van 10% voor situaties waarbij golfsteilheid van $s_{op} < 0,02$ dominant is. Voor situaties gedomineerd door $s_{op} > 0,02$ geldt deze onzekerheid niet: daar geven de complexe en vereenvoudigde belastingfuncties vergelijkbare golfcondities voor het illustratiepunt. De verwachting is dat voor “Steenzetting betonzuilen” en “Breuksteen” slechts voor 2,5% van de locaties sprake zal zijn van $s_{op} < 0,02$. Voor “Afschuiven steenzetting” geldt dit niet (het betreft daar orde 10% van de locaties), maar daarvoor geldt dan wel weer dat verwacht wordt dat slechts 10% van alle locaties getoetst dienen te worden op dit faalmechanisme. Daarmee worden voor alle belastingfuncties de gehanteerde methode en coëfficiënten voldoende nauwkeurig geacht.

Aanbevolen wordt om de Q-variant een waarschuwing te laten genereren indien de golfcondities bepaald met de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ leiden resulteren in $s_{op} < 0,02$. In het geval dat een dergelijke waarschuwing wordt gegenereerd kunnen de met Hydra-K-Q bepaalde Hydraulische Randvoorwaarden niet zondermeer worden gebruikt voor het uitvoeren van een toetsing: er dient een geavanceerde toets plaats te vinden. Optioneel zou Hydra-K-Q kunnen worden aangepast zodat een geavanceerde gebruiker in voorkomende gevallen alsnog met de belastingfunctie voor $s_{op} < 0,02$ golfcondities kan bepalen (hiervoor is het wel noodzakelijk dat het mogelijk wordt om negatieve waarden voor de coëfficiënt “b” te hanteren).

De beoordeling van de toepasbaarheid van de belastingfuncties heeft laten zien dat er situaties denkbaar zijn waarbij het toepassen van de vereenvoudigde belastingfunctie niet leidt tot het juiste illustratiepunt en de daarbij behorende hydraulische randvoorwaarden. De voorgestelde belastingfunctie en coëfficiënten gaan immers uit van een monotoon stijgende belastingfunctie bij toenemende golfhoogte en/of golfperiode. Dit is het geval voor alle voorgestelde vereenvoudigingen, mits sprake is van een golfsteilheid van $s_{op} > 0,02$. De voorgestelde coëfficiënten, en daarmee de methode, zijn niet geldig voor situaties waarbij geldt $s_{op} < 0,02$. Voorgesteld wordt om een waarschuwing in te bouwen voor het geval men buiten het geldigheidsbereik van deze aanpak komt ($s_{op} < 0,02$). Hiermee wordt het geldigheidsbereik gewaarborgd en kan de methode (inclusief waarschuwing) als algemeen toepasbaar worden beschouwd.

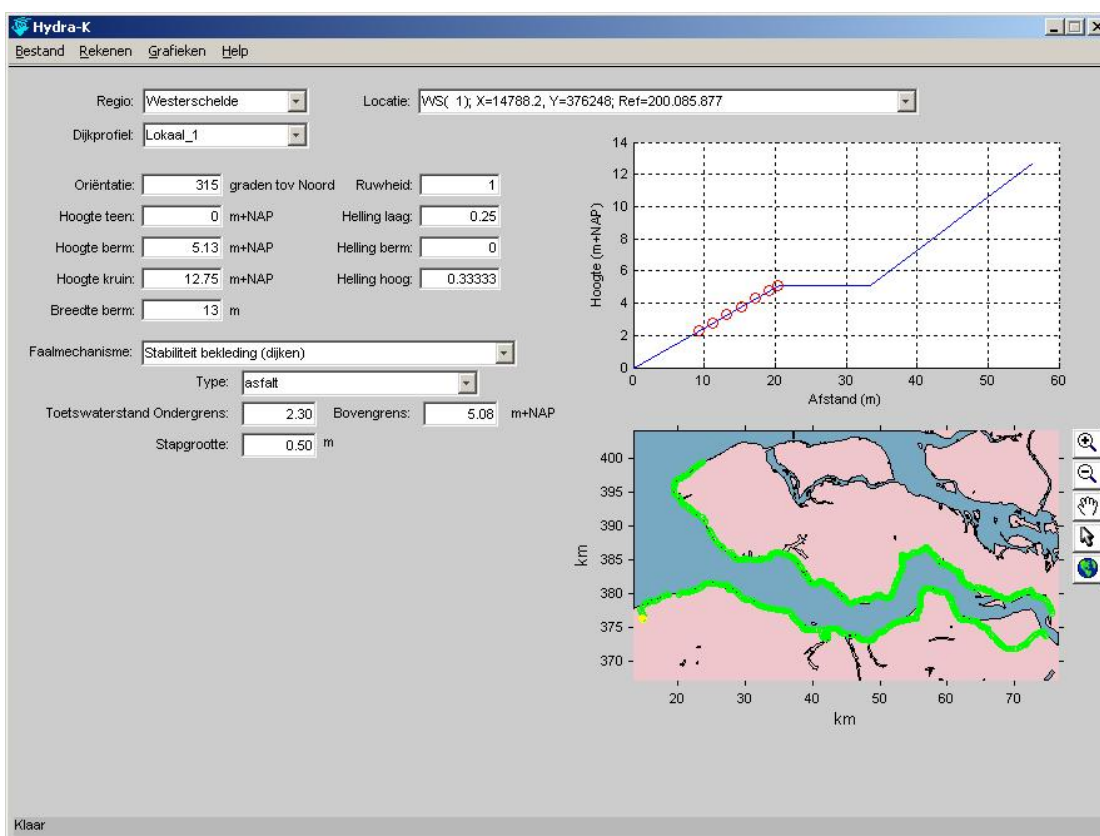
Een deel van de coëfficiënten en aanbevelingen is gebaseerd op berekeningen met een vereenvoudigde versie van Hydra-K-Q. Het wordt aanbevolen om deze berekeningen te verifiëren met de volledige Hydra-K-Q versie. Hiervoor is het waarschijnlijk noodzakelijk om enkele (beperkte) aanpassingen door te voeren in Hydra-K-Q, waardoor het mogelijk wordt om de eigenschappen van de stormen (golfcondities zoals H_s en T_p) in het faalgebied nader te bestuderen.

In het kader van dit rapport is een nadere invulling gegeven aan de Q-variant binnen Hydra-K. Het is wenselijk om ook te onderzoeken of deze voorgestelde aanpassingen aan Hydra-K-Q ook kunnen worden doorgevoerd in Hydra-Zoet. Hydra-Zoet is het toetsinstrumentarium dat gebruikt gaat worden voor de "zoete wateren". De Q-variant wordt ook toegevoegd aan Hydra-Zoet en dient uiteraard zoveel mogelijk aan te sluiten op Hydra-K-Q. Echter, vanwege de berekeningswijze van Hydra-Zoet kunnen niet alle aanbevelingen zonder meer worden overgenomen in Hydra-Zoet. Hierbij moet gedacht worden aan de aanvullende uitvoer/waarschuwingen ten aanzien van golfsteilheid.

4 Gebruik Hydra-K-Q (versie 3.6.1)

4.1 Interactieve mode

Na het opstarten van interactieve versie van Hydra-K (versie 3.6.1) met de nieuwe bekledingenmodule verschijnt het onderstaande hoofdscherm.



Figuur 4.1 Screenshot van het hoofdscherm van Hydra-K-Q in interactieve mode.

In het hoofdscherm worden de volgende keuzes gemaakt:

- Kies een regio. De nieuwe bekledingenmodule is geïmplementeerd voor alle regio's behalve de Oosterschelde. In de regio Oosterschelde worden de belastingfuncties voor bekledingen uit de vorige versie van Hydra-K nog gebruikt.
- Selecteer een locatie.
- Selecteer een dijkprofiel. Het dijkprofiel wordt in de bekledingenmodule niet gebruikt, maar de hoogte van de teen van de dijk en de dijkoriëntatie zijn wel van belang.
- Kies het faalmechanisme 'Stabiliteit bekleding (dijken)'.
- Selecteer het bekledingstype. Het bekledingstype bepaalt de belastingfunctie conform vergelijking 2.1, gebruik makend van coëfficiënten a, b en c behorende bij de beschouwde bekleding.

- Selecteer de (reken)waterstanden waarvoor randvoorwaarden moeten worden berekend. Deze worden bepaald door middel van een onder- en bovengrens en een stapgrootte (interval). Het scherm met het dijkprofiel toont de waterstanden waarvoor gerekend gaat worden. Voor rekenwaterstanden beneden de lokale bodemligging, of beneden de laagste waterstand waarvoor golfgegevens beschikbaar zijn in de SWAN-database kunnen geen belastingen berekend worden. Ook voor rekenwaterstanden boven het toetspeil kunnen geen belastingen berekend worden. Bij selectie van rekenwaterstanden buiten dit bereik wordt een waarschuwing gegeven.

Vervolgens kan een ontwerpberekening worden gestart. De rekenopties 'Herhalingstijd falen', 'Deterministisch rekenen' en 'Offshore-nearshore' zijn niet mogelijk met de Q-variant.

Er kan niet worden gerekend met 'automatische kappa'. De waarde voor kappa (het aantal stormen in het faalgebied) die voor de toetsing gebruikt moet worden is 50. Dit is de standaard waarde binnen Hydra-K.

Uitvoer

De uitvoer bestaat uit randvoorwaarden (wind en golfcondities) voor elk van de gevraagde rekenwaterstanden in het bekende log-infoscherm van Hydra-K. De golfcondities kunnen gebruikt worden als invoer voor VTV toetsmodellen Steentoets, Grastoets en Golfklap.

Voor het faalmechanisme golfoverslag worden in Hydra-K twee illustratiepunten berekend. Het zogenaamde tweede illustratiepunt hoort bij een waterstand die gelijk is aan het toetspeil. Deze optie is voor de Q-variant niet relevant en dus ook niet aanwezig. Merk op dat Hydra-K-Q wel altijd de golfbelasting bij het toetspeil berekent. Het betreft hier echter een ander type berekening dan voor het zojuist genoemde tweede illustratiepunt.

4.2 Batch-mode

Voor het berekenen van golfrandvoorwaarden voor een groot aantal locaties is het verstandig om gebruik te maken van de batch-mode van Hydra-K. De invoerparameters worden dan uit een tekstbestand (defaultnaam 'BatchInputTemplate.txt') gelezen. In de nieuwe bekledingenmodule zijn hier een aantal nieuwe opties bijgekomen.

Het faalmechanisme 'instabiliteit Bekleding' wordt direct onder het kopje [Algemeen] gespecificeerd. De rekenwaterstanden waarvoor de maatgevende hydraulische belastingen berekend dienen te worden, worden bepaald door drie extra regels in het invoerbestand (aangegeven in blauw in onderstaande kader).

[ALGEMEEN]

Faalmechanisme=instabiliteit Bekleding

AutoKappa=NEE

Kappa=50

LocatieBeginIndex=1

LocatieStapGrootte=1

LocatieEindIndex=923

RekenwaterstandOndergrens = 0

Laagste waterstand in m+NAP waarbij de randvoorwaarden berekend worden.

RekenwaterstandStapGrootte = 0.5

Stapgrootte in meters tussen laagste en hoogste waterstand.

RekenwaterstandBovengrens = 4

Hoogste waterstand in m+NAP waarbij de randvoorwaarden berekend worden.

Ongeacht welke rekenwaterstanden zijn opgegeven, worden voor iedere locatie in ieder geval de golfrandvoorwaarden bij toetspeil berekend.

Daaronder worden het type bekleding gespecificeerd en de parameters voor de belastingfunctie van elk type. Onderstaand wordt het voorbeeld gegeven van instabiliteit van asfaltbekleding:

[INSTABILITEIT VAN DE BEKLEDING]

Type=asfalt

De opties zijn: asfalt, gras, steenzetting, breuksteen, betonblokken

[INSTABASFALT]

WeegfactorHs = 0.8333

Factor 'a' in bepaling S-waarden op basis van vereenvoudigde standaardformule (zie vergelijking 2.1)

WeegfactorTp = 0.6667

Factor 'b' in bepaling S-waarden op basis van vereenvoudigde standaardformule (zie vergelijking 2.1)

WeegfactorBeta = 0.6667

Factor 'c', in bepaling S-waarden op basis van vereenvoudigde standaardformule (zie vergelijking 2.1)

GebruikReductiefactorCosinusBeta = 1

Keuze voor methode voor hoek van golfval met $\cos(\beta)^c$ (waarde=1), of met de trapeziumvormige reductiefunctie voor golfval (waarde=0).

GrenshoekLaag = 80

Factor ' β_1 ', voor het berekenen van trapeziumvormige reductiefunctie voor golfval

GrenshoekHoog = 110

Factor ' β_2 ', voor het berekenen van trapeziumvormige reductiefunctie voor golfval

Overige opties

De overige opties in de batch mode van Hydra-K die relevant zijn voor bekledingen zijn:

- Afhankelijkheid=Waarnemingen/Volledig afhankelijk
Advies: Gebruik 'Waarnemingen' voor de wettelijke toetsing van bekledingen.
- SelectieWaarnemingen=Hoogste waterstand/Ongunstigste belasting
Advies: Gebruik 'Hoogste waterstand' voor de wettelijke toetsing van bekledingen.
- Stromingscorrectie=Ja/Nee
Dit is een verouderde functionaliteit. Er kan niet gerekend worden met de optie 'Stromingscorrectie=Ja'.
- Rekenen met extra stochast voor de regio Hollandse Kust
Deze optie is niet langer mogelijk in de bekledingenmodule. Bij het uitvoeren van een berekening voor de regio met de (gemiddelde) periode als extra stochast, wordt een melding in het uitvoerbestand weergegeven, dat alleen de randvoorwaarden zonder extra stochast kunnen worden bepaald.

Uitvoer

De uitvoer van de bekledingenmodule van Hydra-K in batchmode is qua opzet gelijk aan de overige faalmechanismen. De headers van het standaard-uitvoerbestand 'BatchOutputTemplate.txt' worden uitgebreid met informatie over de weegfactoren, de reductiefactor voor golfvalshoek en het opgegeven bereik van waterstanden (rekenwaterstanden) waarvoor de hydraulische belastingen zijn bepaald.

De rekenwaterstanden worden nu per locatie doorlopen en komen ook gegroepeerd per locatie als opeenvolgende regels in het uitvoerbestand. In de kolommen onder en bovengrens worden de laagste en hoogste doorgerekende waterstanden opgenomen. De rekenwaterstand komt terug in de kolom 'WLN' (waterlevel nearshore). In de kolom 'resultaat' wordt de berekende maatgevende S-waarde (S_{50}) weergegeven. Deze waarde is slechts bedoeld voor testdoeleinden en heeft geen enkele fysische betekenis. De waarde in deze kolom komt bij benadering overeen met de waarde die men kan bepalen door toepassing van vergelijk 2.1 met bijbehorende coëfficiënten en golfcondities. Ze zijn echter niet gelijk omdat de kolom 'resultaat' de waarde voor S_{50} presenteert en dat deze niet direct bij het gevonden illustratiepunt hoort. Tabel 4.1 presenteert een voorbeeld van de uitvoer van de batchmode (het relevante deel van de uitvoerkolommen is gepresenteerd). Hierin worden de berekende golfhoogte (Hsn), spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ ($T_{m1,0n}$), gemiddelde golfrichting (Thn), piekperiode (Tpn), spectrale golfperiode $T_{m0,2}$ ($T_{m0,2n}$), offshore waterstand (Wlo), offshore windsnelheid (Wso) en offshore windrichting (Wro) gepresenteerd.

resultaat	Wln	Hsn	$T_{m1,0n}$	Thn	Tpn	$T_{m0,2n}$	Wlo	Wso	Wro
0.49	1.000	0.275	2.438	216.63	3.001	1.477	2.141	27.277	200.02
0.84	1.500	0.508	2.919	211.58	3.242	1.801	2.218	28.957	198.84
1.21	2.000	0.753	3.328	211.35	3.636	2.126	2.221	28.990	201.48
1.56	2.500	1.000	3.810	221.34	4.111	2.476	3.206	30.951	228.65
1.93	3.000	1.248	4.224	222.66	4.503	2.810	3.178	30.859	229.06
2.11	3.500	1.450	4.463	228.09	4.709	3.032	3.534	30.111	244.57
2.24	4.000	1.627	4.687	236.46	4.898	3.244	4.381	32.113	267.13

Tabel 4.1 Voorbeeld uitvoer Hydra-K-Q in batchmodus

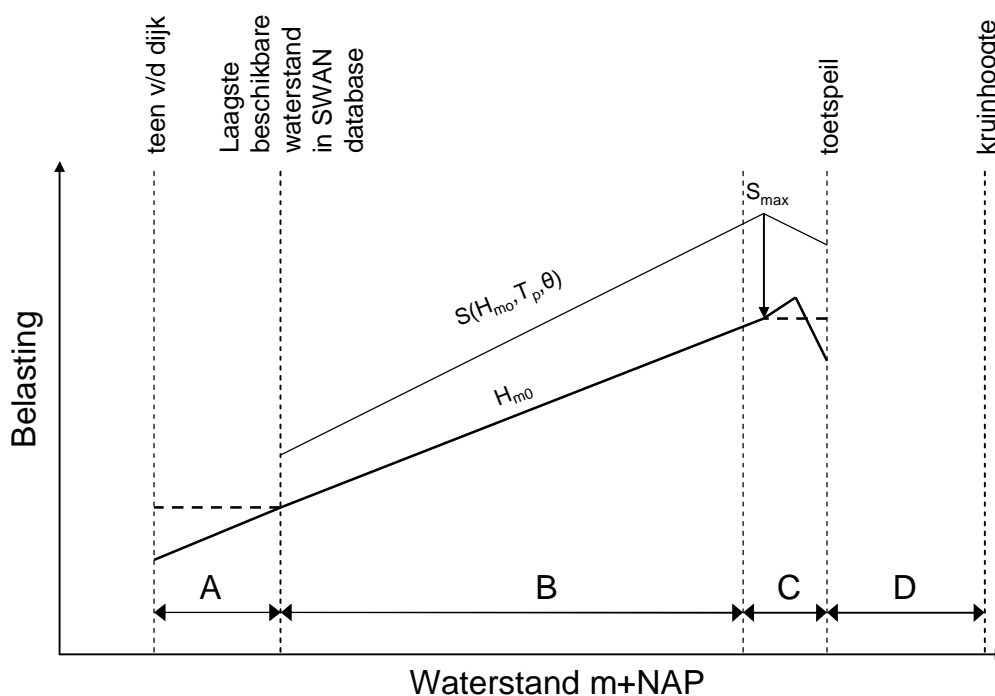
5 Verloop van de belasting als functie van de rekenwaterstand

5.1 Algemeen verloop

Met behulp van Hydra-K kunnen golfbelastingen voor een bereik aan rekenwaterstanden worden bepaald. Hydra-K berekent bij elke rekenwaterstand de maatgevende golfbelasting voor een gewenste normfrequentie. De interpretatie en het gebruik van de berekende golfbelastingen hangt af van de gehanteerde rekenwaterstand. We onderscheiden daartoe vier delen van het bereik van rekenwaterstanden (zie Figuur 5.1):

- Bereik A: Golfcondities voor rekenwaterstanden onder de laagste rekenwaterstand in de database met SWAN-uitvoer
- Bereik B: Golfcondities tussen de laagste rekenwaterstand in de SWAN database en juist onder het toetspeil
- Bereik C: Golfcondities juist⁴ onder het toetspeil
- Bereik D: Golfcondities boven het toetspeil

De wijze waarop de bepaalde golfbelastingen binnen elk van de bereiken geïnterpreteerd en toegepast dienen te worden wordt onderstaand toegelicht.



Figuur 5.1 Theoretisch verloop van de maatgevende golfhoogte als functie van de rekenwaterstand.

⁴ Voor de waterstand "juist onder toetspeil" is een waterstand "een halve meter onder toetspeil" afgeschat op basis van uitgevoerde testen met Hydra-K-Q.

Bereik A: Golfcondities voor rekenwaterstanden onder de laagste waterstand in de database

Het kan voorkomen dat Hydra-K geen uitvoer kan genereren voor lage rekenwaterstanden omdat (i) de gevraagde rekenwaterstand onder de laagste waterstand in de SWAN database ligt of (ii) doordat de uitvoerlocatie droog valt bij lagere waterstanden. In deze gevallen dienen de golfcondities te worden gebruikt die berekend zijn voor de laagste rekenwaterstand waarbij Hydra-K nog wel uitvoer levert.

Het is aan de gebruiker om, op basis van de beschikbare profielen, na te gaan of er sprake is van een ondiep voorland met dieptebeperking van golven. In dat geval mag de golfhoogte voor de laagste rekenwaterstanden gereduceerd worden conform de richtlijn in het VTV. De golfperiode en golfrichting worden niet gecorrigeerd.

Bereik B: Golfcondities tussen de laagste rekenwaterstand in de database en juist onder het toetspeil

Voor rekenwaterstanden tussen de laagste waterstand in de database met golfgegevens en juist onder toetspeil kunnen de resultaten van Hydra-K zonder correctie worden toegepast. Een eventuele afname van de golfcondities wordt veroorzaakt door de fysica van het watersysteem. Een voorbeeld hiervan is afwaaiing bij hogere waterstanden, waardoor lagere golfhoogten worden berekend. Dit treedt ondermeer op voor locaties aan de Waddenzee zijde van Texel (zie Figuur 5.2).

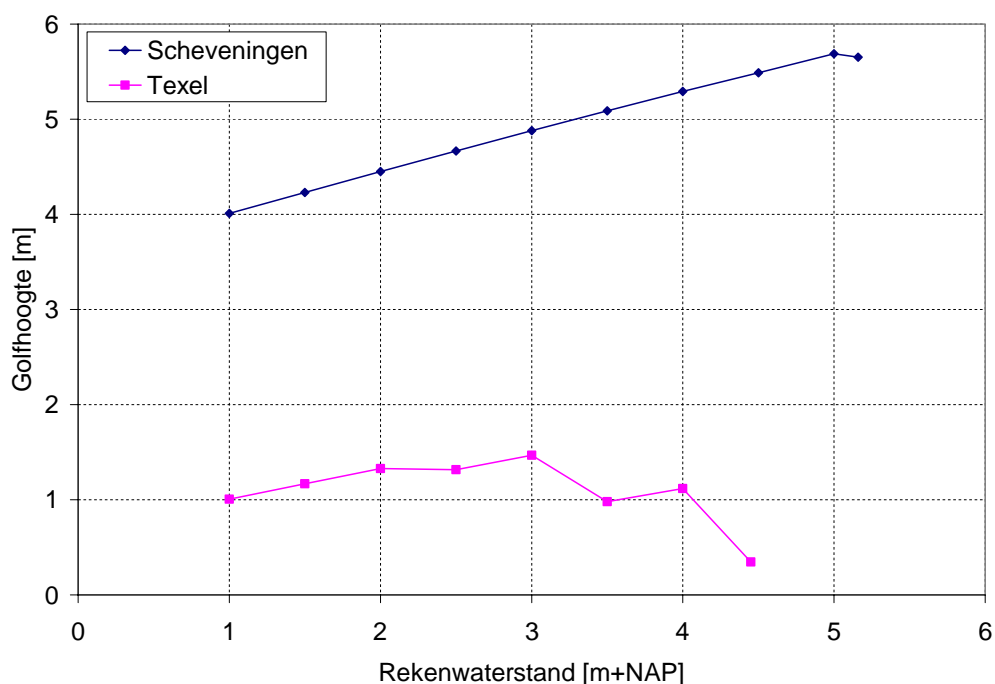
Bereik C: Rekenwaterstanden juist onder toetspeil

Boven het toetspeil kan Hydra-K geen maatgevende golfbelasting berekenen omdat de kans op overschrijding van deze waterstand al kleiner is dan de normfrequentie. Om dezelfde reden neemt de maatgevende golfbelasting bij nadering van het toetspeil soms (iets) af. De golfbelasting bij het toetspeil is dan lager dan bij rekenwaterstanden net onder het toetspeil. In sectie 5.2 wordt toegelicht waar deze daling door veroorzaakt wordt. In onderstaande figuur wordt een voorbeeld gegeven van het genoemde effect bij Scheveningen. Voor locatie Scheveningen is de maatgevende golfhoogte bij het toetspeil (5.13 m) lager dan bij 5 m (deze 5.13 m staat, omwille van duidelijkheid, in de figuur bij 5.5 m). Merk op dat dit effect anders is dan de afname ten gevolge van afwaaiing (bijvoorbeeld Texel).

Hoewel de daling van de golfbelasting bij toenemende rekenwaterstanden goed te verklaren is (zie sectie 5.2) is het voor locaties waar afwaaiing geen rol speelt gevoelsmatig toch in strijd met de fysica. Daarom wordt aanbevolen om dit effect op pragmatische wijze te elimineren. Een generieke aanpak hiervoor moet bovendien garanderen dat de afname van golfcondities wel mogelijk blijft bij locaties waar afwaaiing een rol speelt. De voorgestelde aanpak is als volgt:

Aanbevolen wordt om vast te stellen vanaf welke rekenwaterstand geldt dat S_{50} kleiner is dan S_{median} . Hierin is S_{median} de S-waarde welke door 50% van de stormen met een piekwaterstand boven de rekenwaterstand wordt overschreden. Vanaf deze rekenwaterstand mag bij toenemende rekenwaterstand geen sprake zijn van een afname van de golfcondities. Indien uit de berekening een afname van de golfcondities volgt, dan dienen de maximale golfcondities uit het interval reken[waterstand($S_{50} = S_{\text{median}}$), toetspeil] gehanteerd te worden.

In de huidige versie van Hydra-K is deze procedure nog niet geautomatiseerd en moet deze procedure handmatig uitgevoerd worden. We pleiten er wel voor om in de nabije toekomst dit proces te automatiseren in Hydra-K. Een nadere toelichting op "bereik C" wordt gegeven in paragrafen 5.2.1 en 5.2.3, voor situaties met respectievelijk aanlandige en aflandige windrichtingen.



Figuur 5.2 Verloop van de maatgevende golfhoogte als functie van de rekenwaterstand (Hydra-K versie 3.6.1)

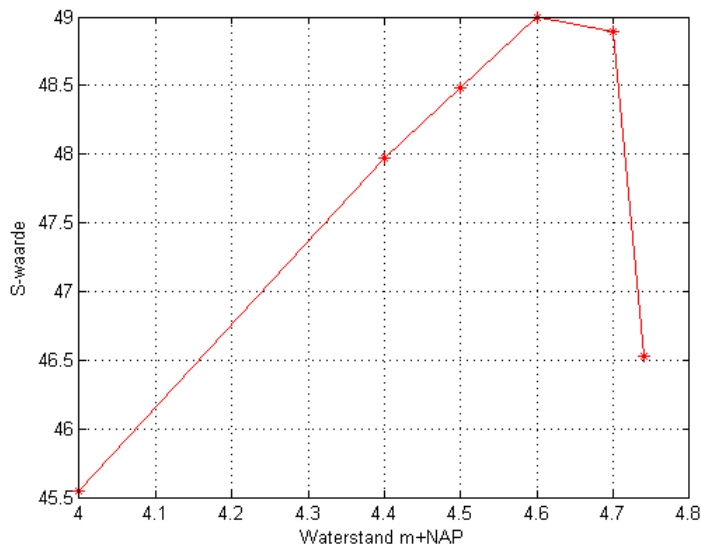
Bereik D: Waterstanden boven toetspeil

Voor waterstanden boven toetspeil kunnen met Hydra-K geen golfcondities met de normfrequentie worden vastgesteld. Immers, de kans van overschrijden van een waterstand boven toetspeil is kleiner dan de normfrequentie (toetspeil is de combinatie die exact met de normfrequentie wordt overschreden). Daarnaast dient de bekleding boven het toetspeil niet getoetst te worden op golfklappen, maar op belasting in de oploopzone welke gebaseerd is op golfcondities behorende bij toetspeil.

5.2 Voorbeeld interpretatie nabij toetspeil

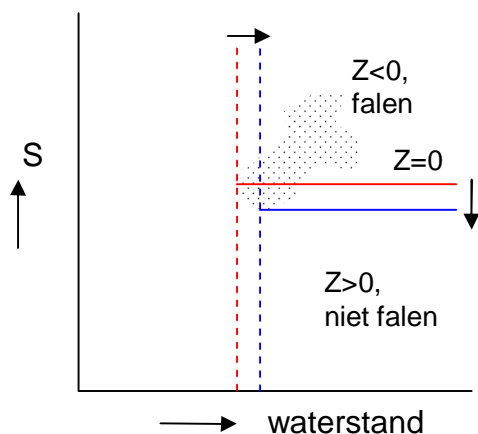
5.2.1 Situatie met aanlandige wind (gesloten kust, Hondsbossche Zeewering)

Als voorbeeld presenteren we een locatie bij de Hondsbossche Zeewering ($x=105340$, $y=387399$). In Figuur 5.3 is het verloop van de berekende S-waarde gepresenteerd. De resultaten laten zien dat de S-waarde bij toenemende rekenwaterstand tot NAP+4,6 meter toeneemt en daarna afneemt. De stijging is een gevolg van de toenemende verwachtingswaarde van de golfhoogte bij toenemende rekenwaterstand.



Figuur 5.3 Verloop S_{50} -waarde voor locatie aanlandige wind, gesloten kust (Hondsbossche Zeewering)

Voor rekenwaterstanden nabij het toetspeil (NAP+4,75m) neemt de S-waarde af: door de toename van de rekenwaterstand verdwijnen stormen (met een specifieke richting) uit het faalgebied terwijl tegelijkertijd aan de onderzijde van het faalgebied stormen worden toegevoegd uit een andere richtingssector, wat leidt tot een andere dominante richtingssector met een gemiddeld lagere S-waarde (zie Figuur 5.4) voor een schematische weergave van deze verschuivingen).



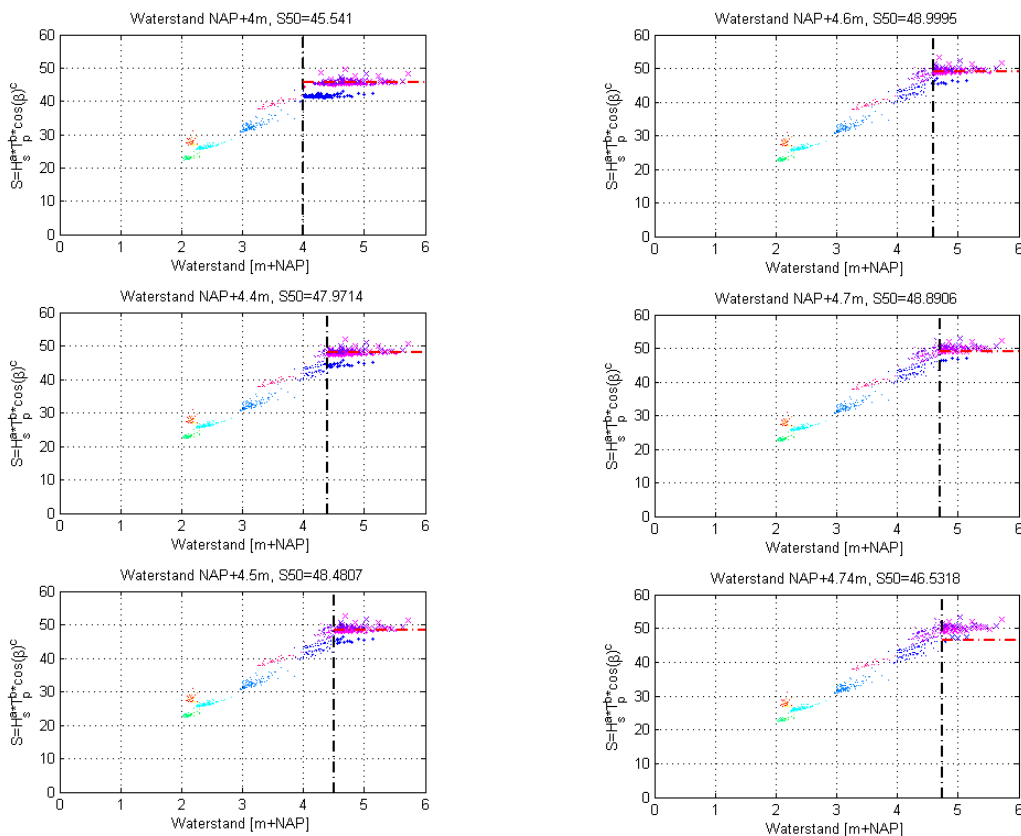
Figuur 5.4 Schematische weergave verschuiven faalgrenzen

In Figuur 5.5 zijn de S-waarden voor de opgeschaalde stormen gepresenteerd voor respectievelijk rekenwaterstanden van NAP +4,0m; NAP+4,4m; NAP+4,5m; NAP+4,6m; NAP+4,74m en NAP+4,9m, bekledingstype "Steenzetting betonblokken" ($a=1$, $b=1$, $c=0$). Op de horizontale as staat de waterstand, op de verticale as de S-waarde. De gekleurde punten geven de berekende S-waarde voor de opgeschaalde stormen weer (per richting een andere kleur voor de punten). De zwarte verticale gestreepte lijn geeft de rekenwaterstand weer, de rode gestreepte horizontale lijn geeft de gevonden S_{50} -waarde weer. Figuur 5.5 is gebaseerd op een benadering van de methode zoals geïmplementeerd in Hydra-K.

De S_{50} wordt bepaald door een faalgebied te definiëren dat aan de linkerzijde wordt begrensd door de conditionele rekenwaterstand en aan de onderzijde wordt begrensd door de S_{50} , zodanig dat het aantal stormen in het faalgebied 50 is. Als nu de conditionele rekenwaterstand toeneemt, dan zullen er stormen links buiten het faalgebied gaan vallen. Om toch 50 stormen in het faalgebied te behouden dient dan de S_{50} lager te worden.

Voor deze locatie geldt dat tot en met een rekenwaterstand van NAP+4,6m de belastingfunctie "S" toeneemt. Dit komt doordat bij hogere rekenwaterstanden ook zwaardere golfcondities horen (zie toelichting in paragraaf 2.3). In dit geval is de toename van de S-waarde voor rekenwaterstanden tot en met NAP+4,6m groter dan de verlaging van de S-waarde door het verschuiven van de linkergrens van het faalgebied.

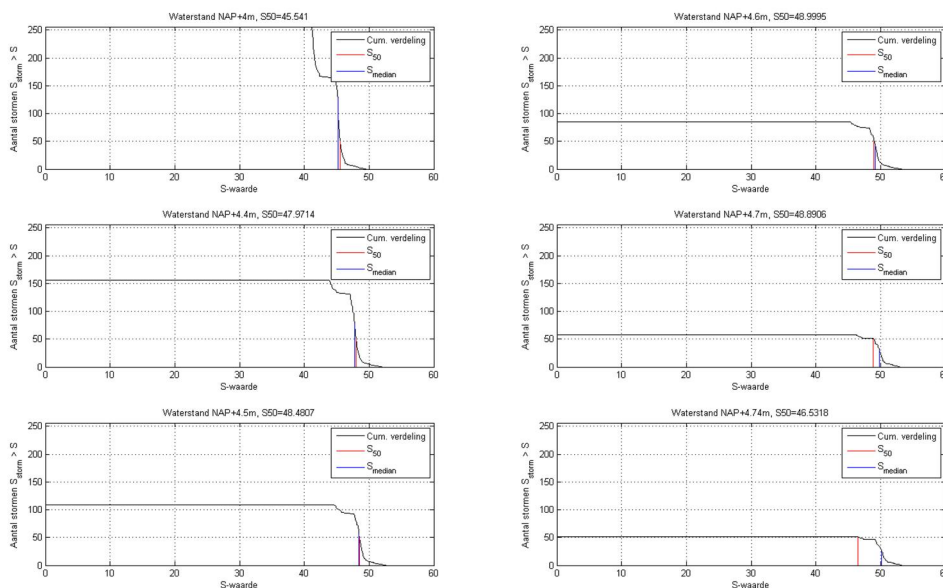
In de reeks is te zien dat als de rekenwaterstand het toetspeil van NAP+4,75m nadert (vanaf een rekenwaterstand van NAP +4,6meter), de zoekwaarde voor S lager moet komen te liggen om ervoor te zorgen dat de integraal van het gebied waarvoor geldt $Z < 0$ gelijk is aan de normfrequentie (dat wil zeggen: dat er 50 stormen in het faalgebied liggen). Een verhoging van de rekenwaterstand betekent dat de kans dat er stormen zijn met een waterstand gelijk of hoger dan de rekenwaterstand kleiner wordt. Dit vertaalt zich in de afbeeldingen in een kleiner aantal stormen dat aan de rechterzijde van de rekenwaterstand ligt. Vanwege het feit dat gekeken wordt naar een belasting behorende bij de normfrequentie geldt nog steeds dat de condities welke door 50 stormen worden overschreden overeen komen met de normfrequentie. Om dit te bereiken dient (vanaf een bepaalde rekenwaterstand) de S_{50} af te nemen zodanig dat er 50 stormen in het faalgebied liggen.



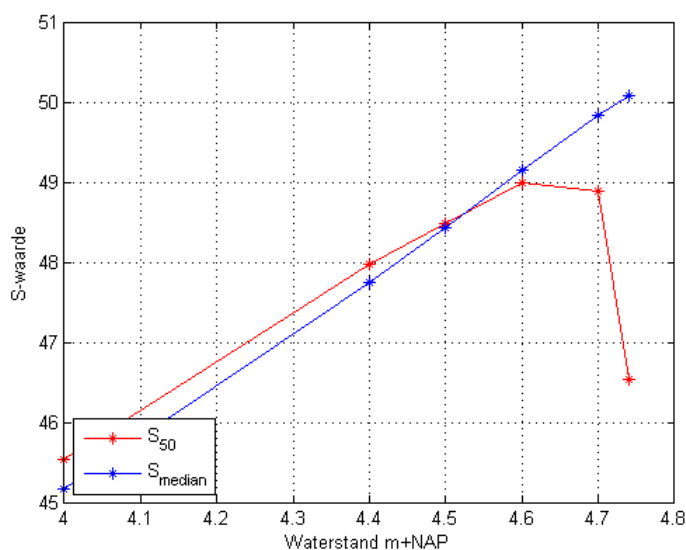
Figuur 5.5 Weergave S-waarde opgeschaalde stormen voor een profiel gelegen aan de gesloten kust, Hondsbossche Zeewering (aanlandige wind)

Als naar de verdeling van de S-waarde van de stormen binnen het faalgebied wordt gekeken, dan is te zien dat de verdeling van de S-waarden behorende bij hogere rekenwaterstanden enerzijds meer extremen bevat en anderzijds dat het aantal waarnemingen afneemt. Hierdoor neemt de verwachtingswaarde van S, gegeven de rekenwaterstand weliswaar toe, maar tegelijkertijd de S-waarde die door 50 stormen wordt overschreden af. Dit is te zien in Figuur 5.6, waarin de cumulatieve verdeling (overschrijdingskans) van de S-waarden voor alle stormen met een waterstand gelijk of groter dan de gekozen rekenwaterstand zijn gepresenteerd. De zwarte lijn geeft de cumulatieve verdeling weer, de rode lijn de S_{50} en de blauwe lijn de S_{median} . De S_{median} is gedefinieerd als de S-waarde welke door 50% van de stormen met een piekwaterstand boven de rekenwaterstand wordt overschreden. Figuur 5.7 presenteert het verloop van zowel S_{50} als S_{median} als functie van de rekenwaterstand. Hierin is te zien dat de S_{50} kleiner is dan de S_{median} vanaf een rekenwaterstand van circa NAP+4,55 meter.

Het afnemen van de S_{50} -waarde bij hogere rekenwaterstanden is methodisch gezien juist (vanwege de conditionele voorwaarde in combinatie met de normfrequentie), maar druist tegen de logica in. Het is echter toch correct, omdat dit voort komt uit het feit dat vanaf een bepaalde conditionele rekenwaterstand de S_{50} lager uitvalt dan de verwachtingswaarde (benaderd middels S_{median}) van de resterende stormen in het faalgebied. Voor gevallen waarvoor geldt dat S_{50} kleiner is dan S_{median} wordt aanbevolen om de maximale hydraulische randvoorwaarden te hanteren welke zijn afgeleid voor het interval [rekenwaterstand(S_{50} = S_{median}), toetspeil]. Hierdoor zullen de golfcondities bij rekenwaterstanden nabij toetspeil niet afnemen in geval van aanlandige wind.



Figuur 5.6 Cumulatieve verdeling S-waarde voor stormen met een waterstand gelijk of hoger dan de rekenwaterstand, voor een profiel gelegen aan de gesloten kust, Hondsbossche Zeewering (aanlandige wind)



Figuur 5.7 Verloop S_{50} en S_{median} als functie van de rekenwaterstand, voor een profiel gelegen aan de gesloten kust, Hondsbossche Zeewering (aanlandige wind)

5.2.2 Situatie met aanlandige wind (Waddenzee)

Als voorbeeld presenteren we een profiel uit dijkvak 40 van dijkkring 6 ($x=203851$, $y=601997$), gelegen langs de noordelijke kust van Friesland met oriëntatie van $356,4^\circ$ N. In Tabel 5.1 zijn de Hydra-K-Q resultaten van een berekening weergegeven voor rekenwaterstanden van NAP 4,0 m tot en met toetspeil (NAP+4,95 m) met stappen van 0,1 meter voor bekledingstype "Steenzetting Blokken" ($a=1$, $b=1$, $c=0$, zie vergelijking 2.1). De resultaten laten zien dat de S-waarde bij toenemende rekenwaterstand tot NAP+4,8 meter toeneemt en daarna afneemt. De stijging is een gevolg van de toenemende verwachtingswaarde van de golfhoogte bij toenemende rekenwaterstand.

Voor rekenwaterstanden nabij het toetspeil neemt de S-waarde af, terwijl de windsnelheid toeneemt. De afname van de golfperiode bij rekenwaterstanden boven NAP+4,7 meter komt voort uit de afname van de S-waarde: door de toename van de rekenwaterstand verdwijnen stormen (met een specifieke richting) uit het faalgebied terwijl tegelijkertijd aan de onderzijde van het faalgebied stormen worden toegevoegd uit een andere richtingssector, wat leidt tot een andere dominante richtingssector met gemiddeld lagere golfcondities (zie Figuur 5.4) voor een schematische weergave van deze verschuivingen). Daarnaast vindt een verschuiving van de golf- en windrichting plaats. Dit zorgt voor uitwisseling van bijdragen van windrichtingen aan de maatgevende S_{50} -waarde via de functie $S_{50}=H_s^a \times T_p^b \times \cos^c(\beta)$.

Rekenwaterstand [m+NAP]	S ₅₀ -waarde	H _s [m]	T _{m1,0} [s]	Golfrichting [°N]	T _p [s]	T _{m02} [s]	Wind snelheid [m/s]	Wind richting [°N]
4,0	10,18	0,94	5,90	351,00	11,27	3,25	26,44	388,62
4,1	10,90	0,98	6,06	351,83	11,50	3,34	27,00	338,62
4,2	11,65	1,02	6,21	351,73	11,73	3,44	27,58	338,62
4,3	12,42	1,06	6,37	351,62	11,95	3,54	28,18	388,62
4,4	13,09	1,11	6,50	350,85	12,10	3,63	28,59	336,84
4,5	12,83	1,15	6,59	349,01	12,18	3,72	28,65	332,08
4,6	13,34	1,19	6,75	348,72	12,46	3,81	28,94	331,46
4,7	13,46	1,23	6,90	348,37	12,75	3,90	29,16	330,62
4,8	13,51	1,23	6,56	337,78	11,95	3,84	33,04	302,62
4,9	10,30	1,25	6,59	336,34	12,20	3,96	33,36	298,22
4,95	9,62	1,27	6,68	336,82	12,44	4,02	33,66	298,57

Tabel 5.1 Resultaat Hydra-K-Q, dijkvak 40 van dijkkringgebied 6 (x=203851, y=601997), bekledingstype steenzetting blokken (a=1, b=1, c=0)

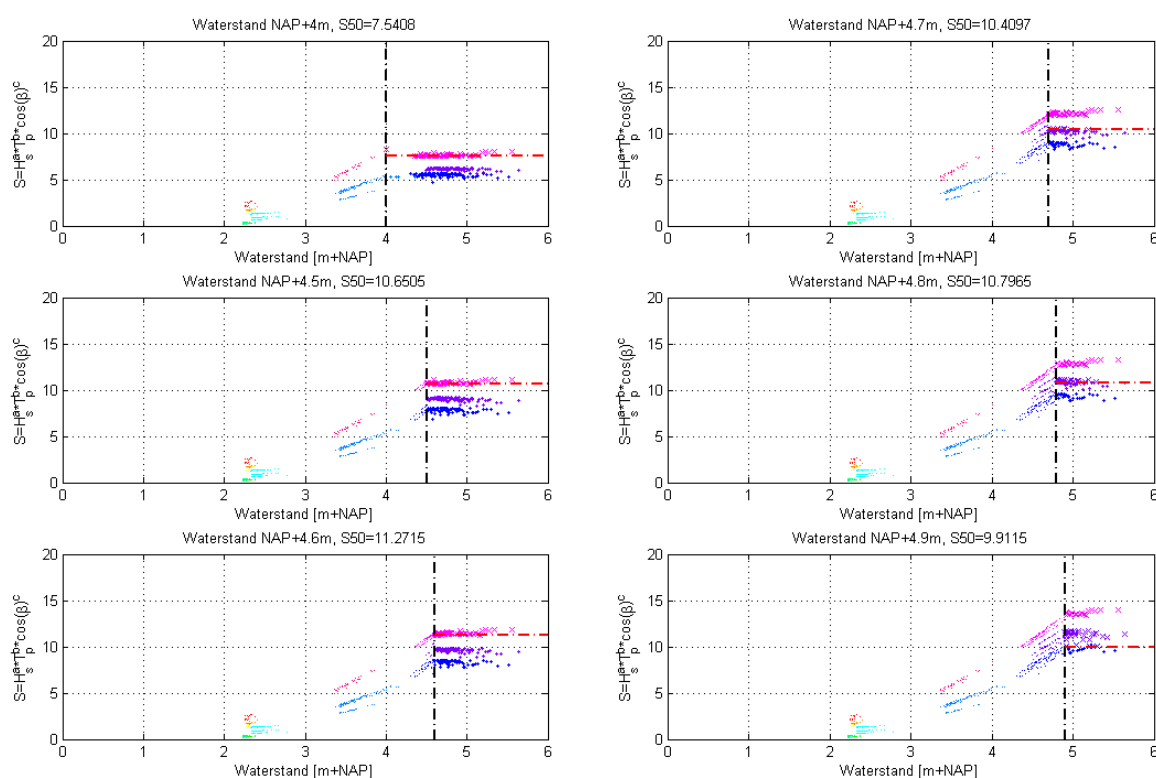
In Figuur 5.8 zijn de S-waarden voor de opgeschaalde stormen gepresenteerd voor respectievelijk rekenwaterstanden van NAP +4,0m; NAP+4,5m; NAP+4,6m; NAP+4,7m; NAP+4,8m en NAP+4,9m, bekledingstype "Steenzetting betonblokken" (a=1, b=1, c=0). Op de horizontale as staat de waterstand, op de verticale as de S-waarde. De gekleurde punten geven de berekende S-waarde voor de opgeschaalde stormen weer (per richting een andere kleur voor de punten). De zwarte verticale gestreepte lijn geeft de rekenwaterstand weer, de rode gestreepte horizontale lijn geeft de gevonden S₅₀-waarde weer. Figuur 5.8 is gebaseerd op een benadering van de methode zoals geïmplementeerd in Hydra-K. De gepresenteerde getallen komen dan ook niet overeen met de getallen gepresenteerd in Tabel 5.1, maar geven een beeld van de wijze waarop de getallen in Tabel 5.1 tot stand zijn gekomen.

De S₅₀ wordt bepaald door een faalgebied te definiëren dat aan de linkerkant wordt begrensd door de conditionele rekenwaterstand en aan de onderzijde wordt begrensd door de S₅₀, zodanig dat het aantal stormen in het faalgebied 50 is. Als nu de conditionele rekenwaterstand toeneemt, dan zullen er stormen links buiten het faalgebied gaan vallen. Om toch 50 stormen in het faalgebied te behouden dient dan de S₅₀ lager te worden.

Voor deze locatie geldt dat tot en met een rekenwaterstand van NAP+4,6m de belastingfunctie "S" toeneemt. Dit komt doordat bij hogere rekenwaterstanden ook zwaardere golfcondities horen (zie toelichting in paragraaf 2.3). In dit geval is de toename van de S-waarde voor rekenwaterstanden tot en met NAP+4,6m groter dan de verlaging van de S-waarde door het verschuiven van de linkergrens van het faalgebied.

In de reeks is te zien dat als de rekenwaterstand het toetspeil van NAP+5,0m nadert (vanaf een rekenwaterstand van NAP +4,6meter), de zoekwaarde voor S lager moet komen te liggen om ervoor te zorgen dat de integraal van het gebied waarvoor geldt $Z < 0$ gelijk is aan de normfrequentie (dat wil zeggen: dat er 50 stormen in het faalgebied liggen). Een verhoging van de rekenwaterstand betekent dat de kans dat er stormen zijn met een waterstand gelijk of hoger dan de rekenwaterstand kleiner wordt. Dit vertaalt zich in de afbeeldingen in een kleiner aantal stormen dat aan de rechterzijde van de rekenwaterstand ligt. Vanwege het feit dat gekeken wordt naar een belasting behorende bij de normfrequentie geldt nog steeds dat de condities welke door 50 stormen worden overschreden overeen komen met de normfrequentie. Om dit te bereiken dient (vanaf een bepaalde rekenwaterstand) de S_{50} af te nemen zodanig dat er 50 stormen in het faalgebied liggen.

Figuur 5.8 laat ook duidelijk zien dat een toename van de conditionele rekenwaterstand leidt tot een afname van de “roze” stormen (windrichting 330°N) en een toename van “paarse” stormen (windrichting 300°N) in het faalgebied. Dit leidt uiteindelijk tot een vrij abrupte overgang van wind- (en dus golf-) richting, omdat de bepaling van het illustratiepunt in Hydra-K (versie 3.6.1) uitgaat van de meest voorkomende windrichting (kleur) in het faalgebied. In deze vereenvoudigende benadering van Hydra-K vindt deze overgang plaats bij een conditionele rekenwaterstand van circa NAP+4,8 meter. Een vergelijkbaar effect is te zien in de resultaten gepresenteerd in Tabel 5.1.

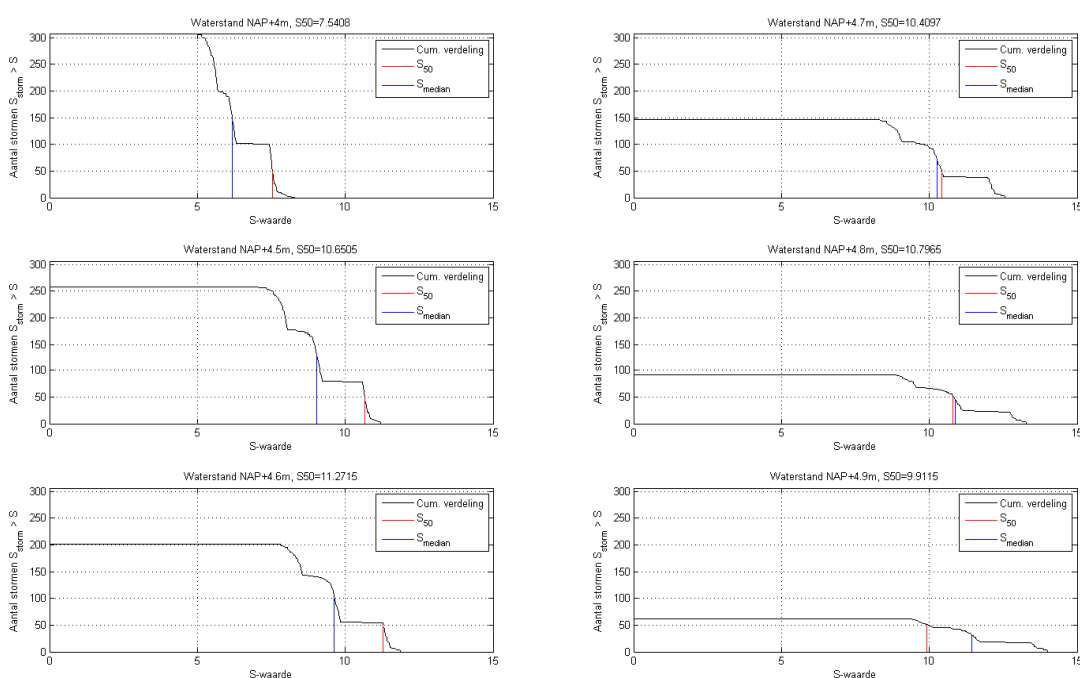


Figuur 5.8 Weergave S-waarde opgeschaalde stormen voor een profiel gelegen aan de Friese Kust (aanlandige wind)

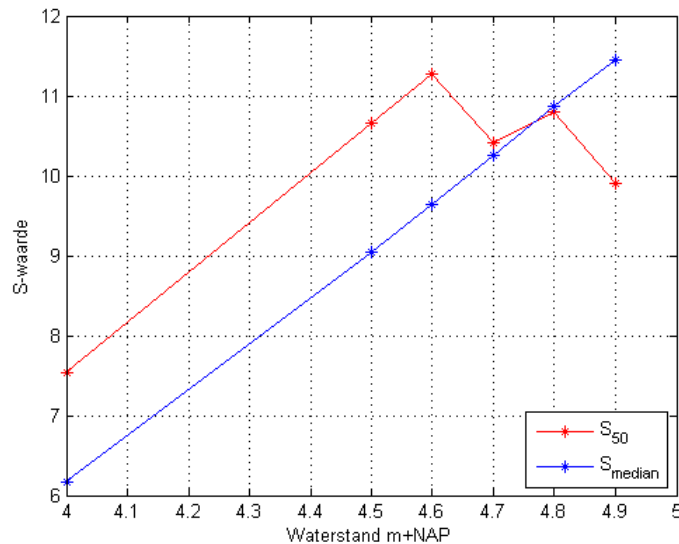
Als naar de verdeling van de S-waarde van de stormen binnen het faalgebied wordt gekeken, dan is te zien dat de verdeling van de S-waarden behorende bij hogere rekenwaterstanden enerzijds meer extremen bevat en anderzijds dat het aantal waarnemingen afneemt. Hierdoor neemt de verwachtingswaarde van S, gegeven de rekenwaterstand weliswaar toe, maar tegelijkertijd de S-waarde die door 50 stormen wordt overschreden af. Dit is te zien in Figuur 5.9, waarin de cumulatieve verdeling (overschrijdingskans) van de S-waarden voor alle stormen met een waterstand gelijk of groter dan de gekozen rekenwaterstand zijn gepresenteerd. De zwarte lijn geeft de cumulatieve verdeling weer, de rode lijn de S_{50} en de blauwe lijn de S_{median} . De S_{median} is gedefinieerd als de S-waarde welke door 50% van de stormen met een piekwaterstand boven de rekenwaterstand wordt overschreden. Figuur 5.10 presenteert het verloop van zowel S_{50} als S_{median} als functie van de rekenwaterstand. Hierin is te zien dat de S_{50} kleiner is dan de S_{median} vanaf een rekenwaterstand van circa NAP+4,8 meter.

Het afnemen van de S_{50} -waarde bij hogere rekenwaterstanden is methodisch gezien juist (vanwege de conditionele voorwaarde in combinatie met de normfrequentie), maar druist tegen de logica in. Het is echter toch correct, omdat dit voort komt uit het feit dat vanaf een bepaalde conditionele rekenwaterstand de S_{50} lager uitvalt dan de verwachtingswaarde (benaderd middels S_{median}) van de resterende stormen in het faalgebied. Voor gevallen waarvoor geldt dat S_{50} kleiner is dan S_{median} wordt aanbevolen om de maximale hydraulische randvoorwaarden te hanteren welke zijn afgeleid voor het interval [rekenwaterstand(S_{50} = S_{median}), toetspeil]. Hierdoor zullen de golfcondities bij rekenwaterstanden nabij toetspeil niet afnemen in geval van aanlandige wind.

Opgemerkt wordt dat in Figuur 5.10 de S_{50} ook al afneemt bij $S_{50} > S_{median}$. Dit wordt veroorzaakt door het statistisch-fysische systeem van de Waddenzee, waarbij het waarschijnlijker is dat waterstanden hoger dan NAP+4,6 meter worden gegenereerd bij andere windrichtingen dan de windrichtingen die leiden tot waterstanden beneden NAP+4,6 meter.



Figuur 5.9 Cumulatieve verdeling S-waarde voor stormen met een waterstand gelijk of hoger dan de rekenwaterstand, voor een profiel gelegen aan de Friese Kust (aanlandige wind)



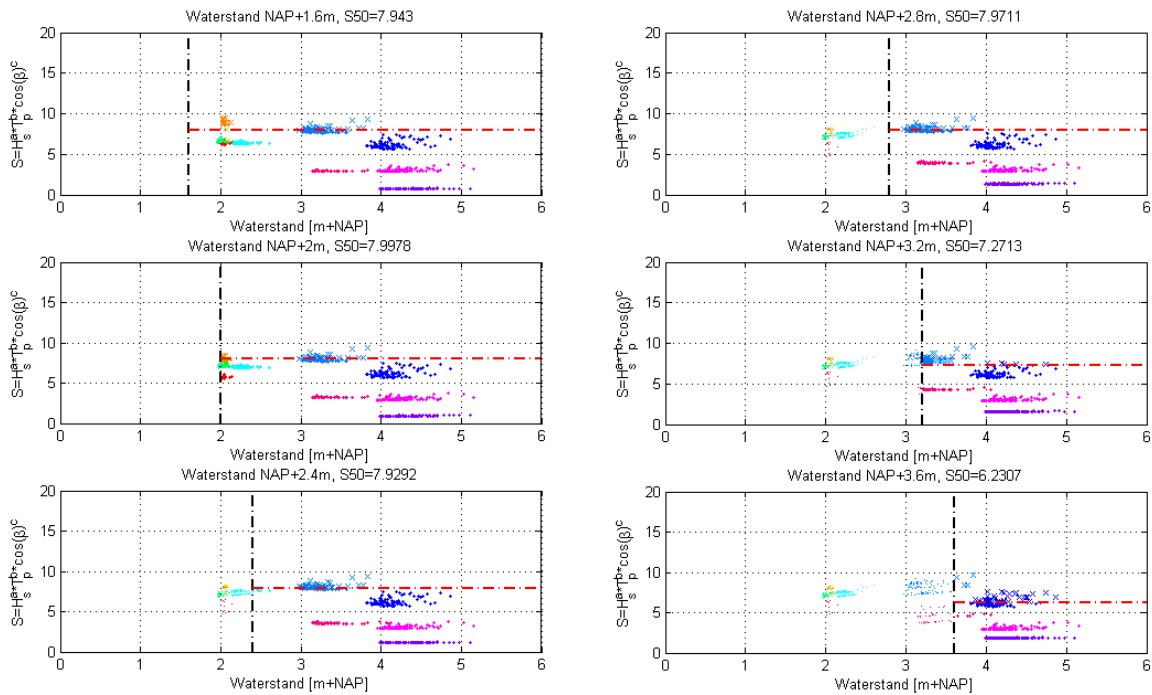
Figuur 5.10 Verloop S_{50} en S_{median} als functie van de rekenwaterstand, voor een profiel gelegen aan de Friese Kust (aanlandige wind)

5.2.3 Situatie met afluende wind

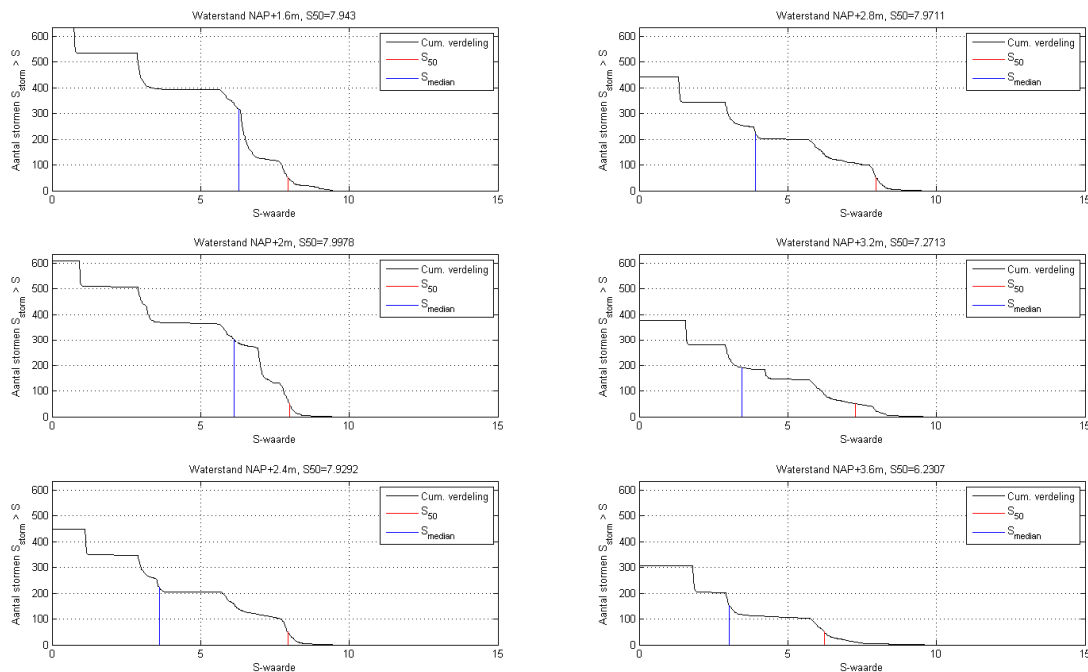
Voor locaties met afluende wind (bv de Waddenzee zijde van Texel) geldt dat de belasting afneemt, enerzijds ten gevolge van de afname van de S_{50} door bovengenoemd aspect en anderzijds ten gevolge van een afname van de waterdiepte. Dit laatste komt tot uitdrukking in het feit dat de S_{median} ook afneemt bij grotere rekenwaterstanden.

Als voorbeeld worden in Figuur 5.11 de faalgebieden gepresenteerd voor verschillende rekenwaterstanden. Hierbij is een profiel geselecteerd aan de Waddenzee zijde van Texel en wordt uitgegaan van "Steenzetting betonblokken" ($a=1$, $b=1$, $c=0$). Figuur 5.12 presenteert de cumulatieve verdeling van de S-waarden voor elk van de stormen boven de gekozen rekenwaterstand. Voor een beschrijving van de figuren wordt verwezen naar paragraaf 5.2.1.

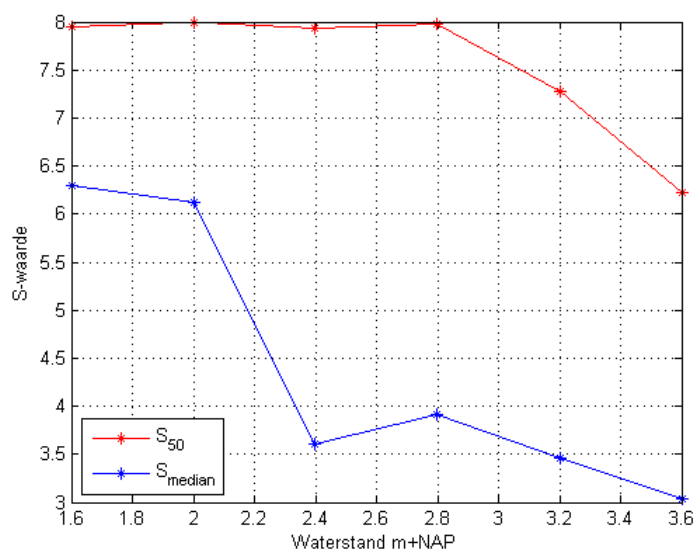
Figuur 5.11 laat zien dat naarmate de conditionele rekenwaterstand toeneemt, de belasting "S" juist afneemt. Dit wordt veroorzaakt door de afname van de golven en waterstand ten gevolge van de afluende wind. Figuur 5.12 laat zien dat voor deze situaties geldt dat de S_{50} en S_{median} beide afnemen. Dit is eveneens te zien in Figuur 5.13 waarbij S_{50} en S_{median} zijn geplot als functie van de rekenwaterstand. Voor situaties met afluende wind kunnen, zolang geldt dat $S_{50} > S_{median}$, de hydraulische randvoorwaarden bepaald voor de rekenwaterstand worden gehanteerd. Hier wordt een afname van S toegestaan. Zodra geldt $S_{50} < S_{median}$, dan dient alsnog de procedure zoals beschreven bij aanlandige wind te worden gevolgd. Dit is feitelijk dezelfde procedure als voor aanlandige wind. De procedure staat toe dat de belasting mag afnemen bij toenemende rekenwaterstand zolang geldt dat $S_{50} > S_{median}$.



Figuur 5.11 Weergave S-waarde opgeschaalde stormen voor een profiel gelegen aan de Waddenzee zijde van Texel (aflandige wind)



Figuur 5.12 Cumulatieve verdeling S-waarde voor stormen met een waterstand gelijk of hoger dan de conditionele rekenwaterstand, voor een profiel gelegen aan de Waddenzee zijde van Texel (aflandige wind)



Figuur 5.13 Verloop S_{50} en S_{median} als functie van de rekenwaterstand, voor een profiel gelegen aan de Waddenzee zijde van Texel (aflandige wind)

5.3 Conclusies en aanbevelingen verloop belasting

Op basis van de huidige Hydra-K-Q implementatie (versie 3.6.1) is vastgesteld dat Hydra-K-Q betrouwbare resultaten geeft. Echter, in sommige gevallen lijken de resultaten contra-intuïtief. Het betreft hier het bereik C "Golfcondities juist onder toetspeil", waarbinnen de golfcondities in sommige gevallen afnemen bij toenemende rekenwaterstand.

Om dergelijke situaties te voorkomen wordt voorgesteld om een controle uit te voeren op de S_{50} en S_{median} . Indien geldt $S_{50} < S_{median}$, dan dienen de maximale golfcondities te worden gehanteerd uit het interval [rekenwaterstand($S_{50} = S_{median}$), toetspeil]. Om deze controle te kunnen uitvoeren dient Hydra-K-Q te worden aangepast: de S_{median} wordt op dit moment niet bepaald en/of uitgevoerd door Hydra.

De verdere implementatie in Hydra-K-Q kan op verschillende wijzen worden vormgegeven:

- genereren van extra uitvoer (S_{median}), waarna de gebruiker zelf de controle moet uitvoeren of S_{50} kleiner is dan S_{median} ;
- genereren van een waarschuwing door Hydra-K-Q indien sprake is van $S_{50} < S_{median}$, waarna de gebruiker op zoek moet naar die rekenwaterstand waarvoor dit criterium niet bereikt wordt;
- door Hydra-K-Q automatisch een reeks van rekenwaterstanden laten doorrekenen en voor situaties waarvoor geldt $S_{50} < S_{median}$ de uitvoer corrigeren indien sprake is van een afname van de golfbelasting bij toenemende rekenwaterstand;

Aanbevolen wordt om allereerst extra uitvoer te genereren (eerste bullet) en met behulp van deze extra uitvoer aanvullende tests uit te voeren. Indien gewenst kan dan later een aanpassing in Hydra-K-Q worden geïmplementeerd welke het gebruiksgemak van Hydra-K-Q in bereik C verbetert.

Daarnaast wordt aanbevolen om te onderzoeken of een andere methode (FORM/numerieke integratie) tot vergelijkbare randvoorwaarden leidt als Hydra-K-Q.

6 Externe test-ronde Hydra-K-Q

6.1 Inleiding

In het kader van het Wettelijk Toets Instrumentarium is een aangepaste versie van Hydra-K ontwikkeld. Deze versie biedt de mogelijkheid om toetsrandvoorwaarden te bepalen voor de lagere taluddelen (ten behoeve van de toets van de dijkbekleding). Deze aangepaste versie (Hydra-K-Q) is door de ontwikkelaars reeds getest door het langsvverloop van HR te controleren (HKV, 2010b), een vergelijking met de deterministische WindWater aanpak te maken (HKV, 2010b) en het in concrete gevallen voor Ameland en de Friese Kust toe te passen (Deltares, 2011b). In aanvulling hierop is besloten Hydra-K-Q door eindgebruikers te laten testen. In dit hoofdstuk worden de bevindingen uit de testprocedure door eindgebruikers (zijnde waterkeringbeheerders: waterschappen en gedelegeerd de ingenieurbureaus) beschreven.

6.2 Testprotocol Hydra-K-Q

Voor het uitvoeren van de test is het enerzijds belangrijk om gebiedsspecifieke testcases (naar eigen inzicht te selecteren door de eindgebruikers) uit te voeren en anderzijds een aantal standaard gevallen te testen. De eindgebruikers zijn gevraagd om tenminste de volgende cases te beschouwen (voor zover van toepassing binnen het beheersgebied van de eindgebruiker):

1. Locatie waar bij NNW windrichting sprake is van opwaaiing
2. Locatie met de dijknormaal gericht op het NNW
3. Locatie waar bij NNW windrichting sprake is van afwaaiing
4. Locatie met de dijknormaal gericht op het ZZO
5. Locatie waarbij sprake is van zware golfaanval tijdens toetsomstandigheden
6. Locatie waarbij nauwelijks sprake is golfaanval tijdens toetsomstandigheden
7. Locatie welke (enigszins) afgeschermd is voor golfaanval uit een specifieke richting (bijvoorbeeld door aanwezigheid van een eiland)
8. Tenminste drie verschillende typen taludbekleding

Daarnaast is de eindgebruiker uitgenodigd om locaties door te rekenen waarvan de eindgebruiker verwacht dat deze problemen kunnen opleveren.

Deltares heeft de eindgebruikers (testers) voorzien van een "standaard format" waarmee de resultaten en bevindingen gerapporteerd konden worden. Dit "standaard format" bood ruimte voor de resultaten (in getallen en grafieken), bevindingen ten aanzien van het gebruik en overige suggesties/aanbevelingen. Een voorbeeld van dit "standaard format" is gegeven in bijlage A.

6.3 Resultaten testronde Hydra-K-Q

6.3.1 Algemeen

In totaal zijn zeven gebruikers benaderd voor het uitvoeren van de test, zie Bijlage B. Van deze gebruikers hebben vijf gebruikers een replek opgeleverd. De bevindingen van deze vijf gebruikers zijn samengevat in dit hoofdstuk. Opgemerkt wordt dat van de vijf gebruikers slechts twee gebruikers gebruik hebben gemaakt van het "standaard format". Overige gebruikers hebben de resultaten op een andere wijze aangeleverd. De door Deltares ontvangen resultaten van de testen zijn (zonder aanpassingen) gepresenteerd in Bijlage C.

6.3.2 Gebruik

Ten aanzien van het gebruik van Hydra-K-Q zijn voornamelijk observaties en suggesties gerapporteerd aangaande de interactieve modus van Hydra-K-Q. De gerapporteerde observaties en suggesties ten aanzien van het gebruik zijn samengevat en gebundeld in vier categorieën:

1. Grafische Interface

Gebruikers van voorgaande Hydra-K versies geven aan dat ze blij zijn met de toevoeging van het kaartje met daarin de regio en aanwezige locaties. Wel zou het wenselijk zijn om op de kaart de gewenste locatie te kunnen selecteren.

Door enkele gebruikers wordt de grootte van het kaartje als klein ervaren. Het vergroten (maximaliseren) van het invoerscherm bleek echter niet mogelijk. De gebruikers geven aan graag de mogelijkheid te hebben om de interface te maximaliseren.

Tot slot geeft een gebruiker aan dat het handje van de pan-modus als pointer blijft hangen.

2. Invoer

Zoals bovenstaand reeds gerapporteerd, is er vanuit de gebruikers de wens om de locaties te kunnen selecteren via het kaartje. Met name voor regio's met veel locaties is dit wenselijk, omdat op coördinaten zoeken niet altijd even logisch/handig is.

Voor wat betreft de invoer van de dijkprofielen wordt door één gebruiker de wens uitgesproken om (i) complexere profielen te kunnen invoeren en (ii) profielen in Hydra-K te kunnen opslaan na aanpassing. De eerste opmerking heeft overigens betrekking op Hydra-K voor hoogtoets, omdat voor de bekledingen alleen de oriëntatie van het profiel wordt meegenomen in de berekening. Voor wat betreft de dijknormalen wordt door een andere gebruiker de suggestie gedaan deze over te nemen van het waterschap. Hierbij wordt aanvullend opgemerkt dat aangegeven dient te worden voor welk traject de gepresenteerde dijknormaal representatief wordt geacht (dit vanwege het feit dat de dijknormaal binnen het dijkvak soms aanzienlijk kan fluctueren).

Ten aanzien van de invoer van de rekenwaterstanden worden twee opmerkingen gemaakt. De eerste betreft het feit dat deze als invoer worden gezien, maar dat ze praktisch gezien voorgedefinieerd zijn (van de laagst mogelijke rekenwaterstand tot toetspeil). De tweede opmerking betreft het feit dat er een foutmelding wordt gegenereerd indien de ondergrens van de rekenwaterstand onder het bodemniveau ligt. Het is hierbij onduidelijk wat als bodemniveau wordt gebruikt. Het is dan ook wenselijk om het gehanteerde bodemniveau aan de gebruiker te melden.

3. Uitvoer

Door gebruikers met beperkte Hydra-K ervaring wordt de uitvoer, zoals gepresenteerd in het log-venster, als onduidelijk ervaren. Voorbeelden hiervan zijn: (i) na aanpassing van het profiel blijft de naam van het profiel in de uitvoer gelijk, (ii) resultaten van verschillende berekeningen zijn niet van elkaar te onderscheiden en (iii) het is niet in één oogopslag duidelijk wat de uitvoer is en wat deze betekent. Er wordt aangegeven dat dit meer op Hydra-M zou mogen lijken.

Tot slot wordt door een gebruiker opgemerkt dat de uitvoer voor berekening met “Steenzetting zuilen” enkel het woord “Steenzettingen” vermeld, hetgeen verwarrend kan zijn als er ook gerekend wordt met “Steenzettingen blokken”.

4. Overig

Twee gebruikers hadden problemen met de installatie van Hydra-K. De eerste gebruiker had geen rechten om de software te installeren, waarna de betreffende automatiseringsafdeling door middel van kopiëren de software op de PC heeft geïnstalleerd. Hierdoor werden niet alle menu-items (waaronder Hydra-K batch) geïnstalleerd. Een tweede gebruiker had moeite met de installatie van Hydra-K onder Windows 7 en is uitgeweken naar Windows 2000.

Meerdere gebruikers hebben een foutmelding gekregen bij het doorrekenen van bekledingstype “gras”: “Improper assignment wih rectangular empty matrix”.

Eén gebruiker heeft na het krijgen van de (foutmelding: too many arguments) bij overslag Hydra-K opnieuw moeten opstarten om weer met de bekledingenmodule te kunnen rekenen.

6.3.3 Inhoudelijk

1. Verloop golfcondities voor individuele locaties

Ten aanzien van het verloop van de golfcondities als functie van de rekenwaterstand valt op dat er zowel realistische als minder realistische situaties worden gevonden. Hierbij worden de verlopen voor locaties met afluiddige wind als realistisch beoordeeld, terwijl juist de verlopen voor aanlandige locaties als onrealistisch worden beoordeeld.

Het verloop van de golfcondities voor de aanlandige locaties wordt overigens niet in alle gevallen als onrealistisch beoordeeld. In een aantal gevallen wordt door de gebruiker het verloop verklaard door te kijken naar de onderliggende belastingfunctie. Echter, niet alle verlopen kunnen hiermee worden verklaard. Met name de afname van de golfcondities nabij toetspeil (of het zelfs ontbreken van golfcondities bij toetspeil) kan door de gebruikers niet altijd worden verklaard. Een voorbeeld hiervan is de afname bij locatie ELD10114 ($x=134109$, $y=589901$) in regio “Waddenzee West”, in combinatie met bekledingstype “Steenzetting zuilen”. Bij deze locatie is sprake van een sterke afname van de golfcondities voor rekenwaterstanden onder toetspeil, terwijl de golfcondities bij toetspeil juist weer zwaarder lijken te zijn.

Voor locaties in de Waddenzee vinden een aantal gebruikers een sterke toename van de piekperiode bij hogere rekenwaterstanden. Daarbij wordt vaak opgemerkt dat het verloop van de spectrale periodemaat $T_{m-1,0}$ in tegenstelling tot de piekperiode juist wel een realistisch verloop laat zien.

Door een aantal gebruikers zijn de verlopen van de golfcondities voor verschillende bekledingstypen met elkaar vergeleken. De gebruikers geven aan dat de resultaten met name bij hogere rekenwaterstanden van elkaar verschillen (zowel in golfperiode als in golfrichting). Eén gebruiker geeft aan dat de verschillen tussen de bekledingen overeen komen met de verschillen in de belastingfuncties (ondermeer ten gevolge van het al dan niet meenemen van golfrichting in de belastingfunctie).

Een tweetal gebruikers heeft specifiek gekeken naar het verschil tussen de golfcondities bepaald voor hoogte en de golfcondities bepaald voor bekledingen (bij toetspeil). Door beide gebruikers is aangegeven dat de golfcondities bepaald voor bekledingen (soms significant) lager zijn dan de golfcondities bepaald voor hoogte.

Tot slot wordt opgemerkt dat de berekende golfrichting soms nogal abrupt wijzigt tussen twee verschillende rekenwaterstanden. Dit geldt ondermeer voor bekledingstype "Steenzetting zuilen". Verder is aangegeven dat er verschillende golfrichtingen worden berekend voor verschillende bekledingstypen. Dit wordt door de gebruiker echter verklaard door de invloed van de golfrichting zoals opgenomen in de belastingfunctie.

2. (On)verwachte resultaten, fysisch afwijkende resultaten

De gebruikers hebben aangegeven dat er in een aantal gevallen sprake is van opvallende en/of onrealistische resultaten (bezien vanuit fysica). Het meest opvallende onrealistische resultaat is een negatieve waarde voor de periodematen $T_{m-1,0}$ en T_{m02} . Dergelijke uitvoer wordt gegenereerd voor diverse locaties in verschillende regio's. Het optreden van deze negatieve periodematen is geanalyseerd en gerepareerd middels een bugfix van Hydra-K-Q.

Verder geeft een aantal gebruikers aan dat er golfcondities worden berekend met een piekperiode welke kleiner is dan de spectrale periode maat $T_{m-1,0}$. De gebruikers markeren deze resultaten als "vreemd". Een relatief grote waarde voor de piekperiode wordt overigens vaak toegewezen aan de aanwezigheid van ondieptes.

Een tweetal gebruikers geeft verder aan dat de golfsteilheid (gebaseerd op piekperiode) in een aantal gevallen erg laag is (met name in de Waddenzee), terwijl deze op andere locaties juist weer erg hoog is (Westerschelde). De lage golfsteilheid ($s_{op} \approx 0,01$) wordt door de gebruiker over het algemeen als logisch ervaren. De hoge golfsteilheid ($s_{op} \approx 0,06$) echter niet.

Tot slot wordt aangegeven dat in een aantal gevallen de hoek van golfinval onverwacht is. Gebruikers geven aan dat dit waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de wijze waarop de golfrichting in de belastingfunctie wordt meegenomen.

3. Belastingfuncties

Een aantal gebruikers heeft bij de beoordeling van de resultaten ook de belastingfunctie beschouwd. Over het algemeen kan gesteld worden dat de verschillen in golfcondities tussen verschillende bekledingen verklaard kunnen worden door de gehanteerde belastingfuncties met elkaar te vergelijken.

Het is opvallend dat sommige gebruikers ook een link leggen tussen de berekende S-waarde en de berekende golfcondities. Ook worden S-waarden voor verschillende bekledingstypen bij dezelfde rekenwaterstand onderling met elkaar vergeleken.

Tot slot geeft één gebruiker aan dat de resultaten onafhankelijk zijn van de ruwheid en helling van het talud.

4. Geen uitvoer

Voor een aantal gevallen was het voor de gebruikers niet mogelijk om golfcondities te berekenen. De voornaamste gevallen/locaties waar dit optrad waren:

- Diverse profielen, alle regio's, bij toetspeil
- Westerschelde: 110 van de 923 locaties geven geen uitvoer voor toetspeil en voor meerdere locaties wordt beneden toetspeil geen uitvoer gegenereerd.
- Texel, Eijerland
- Niet voor regio Kust Noord2p
- In geval van bekledingstype gras wordt soms de melding *“improper assignment with rectangular empty matrix”* gegenereerd en worden geen golfcondities bepaald.

5. Overig

Tot slot zijn er een aantal specifieke opmerkingen/vragen gesteld door gebruikers:

- Waarom kan de invloed voor dammen en voorlanden niet door de gebruiker verdisconteerd worden?
- Vergeleken met WindWater 2010 neemt H_s af en T_p toe
- Kan Hydra-K-Q worden uitgebreid om ook de deterministische golfbelasting, zoals deze bij PBZ gehanteerd wordt, te bepalen. Dit om een vergelijk mogelijk te maken tussen de probabilistische en deterministische golfcondities.

6.4 Reactie op bevindingen en benodigde aanpassingen Hydra-K-Q

6.4.1 Gebruik

De gebruikers hebben aangegeven dat het wenselijk is om de locatie in het kaartje (interactief) te kunnen selecteren. Daarnaast is er de wens geuit om het kaartje groter te maken en het venster van de user interface te kunnen maximaliseren. Dit betreft verzoeken welke gerelateerd zijn aan het overal gebruik van Hydra-K en niet specifiek zijn voor de Q-variant. Indien gewenst, dan dient dit waarschijnlijk vanuit Hydra-K geïnitieerd te worden.

Verder is er een opmerking geplaatst ten aanzien van het feit dat het “handje” van de “pan-modus” als pointer blijft hangen. Een korte test heeft uitgewezen dat dit het geval is. Met behulp van de knop met het icoon “pijlje” kan de pointer echter weer terug gezet worden naar pijltje. Klaarblijkelijk verdient dit nog aandacht, ofwel in uitleg ofwel als aanpassing van Hydra-K.

Ten aanzien van de dijkprofielen wordt door één gebruiker aangegeven dat het wenselijk is om (i) complexere profielen te kunnen invoeren en (ii) deze te kunnen opslaan. Deze wensen hebben betrekking op Hydra-K in het algemeen en worden voor de Q-variant buiten beschouwing gelaten. Hetzelfde geldt voor het verzoek om de dijknormalen voor de profielen over te nemen van het waterschap: dit betreft ook een aanpassing welke bij Hydra-K hoort en niet specifiek geldt voor de Q-variant.

Ten aanzien van de rekenwaterstanden wordt door een gebruiker aangegeven dat deze weliswaar invoer zijn voor de berekening, maar dat deze in feite al vast liggen. In principe zou Hydra-K-Q ook zodanig kunnen worden ingericht dat automatisch de relevante rekenwaterstanden worden doorgerekend. Dit elimineert dan ook de waarschuwing dat de rekenwaterstand beneden bodemniveau ligt. De keuze om dit proces te automatiseren raakt aan het verloop van de golfcondities als functie van de rekenwaterstand (de vaststelling van het "rekenrecept", zie hoofdstuk 5). Een eventuele aanpassing van Hydra-K-Q op dit punt moet dan ook in samenhang met de discussie aangaande het "rekenrecept" worden beschouwd.

Ten aanzien van de uitvoer worden een aantal opmerkingen gemaakt door een gebruiker met beperkte Hydra-K ervaring. Waarschijnlijk is het effectiever om nieuwe gebruikers te voorzien van een uitgebreide handleiding/cursus dan om Hydra-K aan te passen. Uitzondering hierop is de opmerking dat bij de uitvoer van een berekening "Steenzetting zuilen" alleen melding maakt van "Steenzetting". Dit kan tot verwarring leiden indien een berekening wordt uitgevoerd voor zowel zuilen als blokken. De uitvoer van Hydra-K-Q dient dan ook aangepast te worden om deze verwarring te voorkomen.

Twee gebruikers geven aan dat er problemen waren met de installatie van Hydra-K versie 3.6.1 (eenmaal vanwege ontbreken van installatierechten en eenmaal vanwege gebruik van Windows 7). Het verdient de aanbeveling om voor uitlevering van de definitieve versie een check te doen op platformafhankelijkheid van de installatie. Dit is echter een actie welke niet direct gerelateerd is aan de Q-variant maar meer aan Hydra-K in het algemeen.

Meerdere gebruikers hebben de foutmelding "Improper assignment with rectangular matrix" gekregen. Deze melding is bij de interne testronde van Hydra-K-Q ook reeds geïdentificeerd en opgepakt. De volgende release van Hydra-K-Q zal deze melding niet meer geven.

Tot slot is er één gebruiker geweest die de foutmelding "too many arguments" kreeg bij het uitvoeren van een overslag berekening en daarna Hydra-K opnieuw moest opstarten om weer met de bekledingenmodule te kunnen rekenen. Deze foutmelding kon niet gereproduceerd worden en daardoor kan er geen probleemanalyse worden uitgevoerd.

6.4.2 Inhoudelijk

Door de gebruikers is aangegeven dat het verloop van de golfcondities net onder toetspeil niet altijd wordt begrepen/kan worden verklaard. Met name de sterke afname van de golfcondities bij locaties met aanlandige wind is lastig te verklaren. Deze opmerking sluit aan bij hoofdstuk 5 aangaande het verloop van de golfcondities nabij toetspeil. In hoofdstuk 5 wordt een "rekenrecept" voorgesteld waarbij de afname van de golfcondities wordt ondervangen.

De uitgevoerde testberekeningen hebben in een aantal gevallen geleid tot fysisch onrealistische getallen. Het betreft met name negatieve waarden voor de T_{m-10} en de T_{m02} . Door de ontwikkelaars is dit ook gesignaleerd, waarna Hydra-K-Q zodanig is aangepast dat er geen negatieve waarden worden gegenereerd voor $T_{m-1,0}$ en T_{m02} .

Veel gebruikers geven aan dat er som sprake is van onverwachte golfcondities. Het gaat daarbij om een hele kleine ($s_{op} \approx 0,01$) of juist grote ($s_{op} \approx 0,06$) golfsteilheid en om onverwachte verhoudingen tussen T_p en $T_{m-1,0}$. Een analyse van de situatie waar zich dergelijke situaties voordoen laat zien dat dergelijke getallen/verhoudingen fysisch verklaarbaar zijn. De afwijkende getallen/verhoudingen worden veroorzaakt door fysische processen welke de golfspectra beïnvloeden en bijvoorbeeld leiden tot dubbeltoppige spectra. Dergelijke spectra worden berekend door SWAN en zijn (in de vorm van integrale golfparameters) opgenomen in de database welke ten grondslag ligt aan Hydra-K. Er is dan ook geen aanpassing van Hydra-K-Q voorzien ten aanzien van dit punt.

De respons van een aantal gebruikers wekt de indruk dat hen niet duidelijk is dat het profiel (uitgezonderd oriëntatie) alsmede de ruwheid niet worden meegenomen in de Hydra-K-Q berekeningen. Ter verduidelijking zou dit nadrukkelijker kunnen worden toegelicht in de gebruikshandleiding. Een alternatief is het aanpassen van Hydra-K-Q zodat duidelijk wordt dat deze input niet relevant is (bijvoorbeeld door betreffende invoervakken grijs te maken). De verwachting is echter dat dit laatste nog steeds tot vraagtekens zal leiden. Er is dan ook een sterke voorkeur voor het aanpassen/verduidelijken van de gebruikershandleiding ten aanzien van dit punt.

De gebruikers geven aan dat Hydra-K-Q niet altijd golfcondities kan afleiden voor toetspeil. Zo ontbreekt in de Westerschelde voor 110 locaties (van de 923) uitvoer bij toetspeil. Het ontbreken van golfcondities bij toetspeil raakt wederom aan het verloop van de golfcondities nabij toetspeil (hoofdstuk 5). In hoofdstuk 5 wordt een "rekenrecept" voorgesteld, welke de "problemen" met het verloop van de golfcondities bij toetspeil moet oplossen.

In een aantal gevallen wordt voor rekenwaterstanden (ver) beneden toetspeil geen uitvoer gegenereerd (foutmelding "Improper assignment with rectangular empty matrix"). Zoals eerder aangegeven is deze melding ook bij de interne testronde naar voren gekomen en is daar inmiddels een reparatie voor uitgevoerd (HKV, 2011). De melding was het gevolg van de wijze waarop de dominante richting werd bepaald: deze leidde tot een windrichting waarvoor geen stormen gevonden konden worden binnen het faalgebied. De dominante richting wordt nu op een andere wijze bepaald, waardoor deze melding niet meer gegenereerd wordt.

Eén gebruiker heeft geprobeerd om voor regio "Kust Noord2p" berekeningen met de beklédingen module uit te voeren. Dit bleek niet mogelijk, wat logisch is omdat de "2p" staat voor het meenemen van de periodemaat als stochast in de hoogtetoets. De beklédingen-module gebruikt een ander rekenalgoritme waarvoor de keuze van golfperiode als stochast niet van toepassing is. Dit verdient extra aandacht in de toelichting op het gebruik van Hydra-K-Q.

Tot slot worden er geen golfcondities berekend als er onvoldoende informatie in de onderliggende SWAN database beschikbaar is. Dit kan zich ondermeer voordoen als de bodemligging van de uitvoerlocatie (in SWAN) hoger ligt dan de laagst beschikbare waterstand in de database (NAP +1m). Door Hydra-K-Q wordt inmiddels reeds een waarschuwing afgegeven als er een rekenwaterstand wordt gebruikt welke onder de bodemligging van de uitvoerlocatie ligt. Het is echter wenselijk voor de gebruiker om meer inzicht te hebben in deze bodemligging. Mogelijk kan Hydra-K-Q hierop worden aangepast (al dan niet met een melding of door de het proces te automatiseren). Parallel hieraan is in de handleiding voor gebruik van Hydra-K-Q reeds vermeld hoe omgegaan dient te worden met het ontbreken van deze golfcondities.

Het Project Bureau Zeeweringen maakt momenteel gebruik van deterministische golfbelasting. Vanuit de gebruikers is de wens geuit om Hydra-K-Q zodanig aan te passen dat deze ook de deterministische golfbelasting kan bepalen. Vanwege de scope van dit project wordt hier momenteel geen vervolg aan gegeven.

6.5 Conclusies en aanbevelingen test-ronde Hydra-K-Q

Op basis van de resultaten van de externe test-ronde stellen wij de volgende acties/aanpassingen voor ten aanzien van Hydra-K-Q (bekledingenmodule):

- Automatiseren door te rekenen waterstanden
- Consistentie/eenduidige naamgeving van bekledingen in uitvoer
- Toevoegen van een toelichting op gebruik profielgegevens in Hydra-K-Q aan de handleiding
- Aanpassen "rekenrecept" zodat er een eenduidig/consistent verloop van de golfcondities als functie van de rekenwaterstand wordt gegenereerd, inclusief golfcondities behorende bij toetspeil
- Toevoegen van een opmerking aan de handleiding van Hydra-K-Q waaruit blijkt dat het niet mogelijk is om te rekenen met de periodemaat als extra stochast, zoals dit wel mogelijk is voor de hoogtetoets
- De gebruiker meer inzicht geven in de gehanteerde bodemligging van de gekozen uitvoerlocatie (in verband met ondergrens rekenwaterstand)

Naast specifieke acties voor Hydra-K-Q (bekledingenmodule), zijn er ook aanpassingen en acties welke meer generiek op Hydra-K van toepassing zijn. Het betreft de volgende acties:

- Aanpassen grootte van het topografische kaartje in Hydra-K
- Mogelijkheid om via topografisch kaartje locaties te selecteren
- Toelichting/aanpassen "handje" na selectie van "pan-modus"
- Mogelijkheid tot invoer van complexere profielen
- Mogelijkheid tot opslaan van eigen profielen
- Overnemen van dijknormalen van databases beschikbaar bij waterschappen
- Cursus Hydra-K voor gebruikers die nog niet eerder met Hydra-K hebben gewerkt.
- Aanpassen installatie (beschrijving) zodanig dat installatie plaats vindt op compatibele platforms (windows versies) en met de juiste systeem-rechten

Deze laatste acties/aanpassingen vallen buiten de scope van Hydra-K-Q en moeten vanuit een ander project worden opgepakt.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Belastingfuncties

In dit rapport is een overzicht gegeven van coëfficiënten voor de vereenvoudigde belastingfunctie zoals reeds beschreven in literatuur. Op basis van dit overzicht en enkele (eenvoudige) Hydra-K-Q berekeningen is een voorstel gedaan voor de te hanteren coëfficiënten voor Hydra-K-Q. Dit voorstel is samengevat in Tabel 7.1.

	Hydra-Q (2006)			Hydra-K-Q (2011)		
	a	b	c	a	b	c
Steenzetting (betonzuilen, $s_{op} > 0,02$)	0,667	0,667	-	1,0	0,4	0,8
Steenzetting (betonzuilen, $s_{op} < 0,02$)	0,667	0,667	-	1,0	-0,25	0,667
Steenzetting (blokken)	0,667	0,667	-	1,0	1,0	1,0
Asfalt golfklapzone	1,6	0	-	1,0	0	0
Grasmat golfklapzone	1,5	1	-	1,0	0,67	0
Breksteen ($s_{op} > 0,02$)	0,75	0,5	-	1,0	0,67	1,1
Breksteen ($s_{op} < 0,02$)	-	-	-	1,0	-0,1	1,1
Afschuiven bekleding (klei)	-	-	-	1,0	0	0
Afschuiven bekleding (zand)	-	-	-	0,125	1,0	0

Tabel 7.1 Overzicht coëfficiënten voor belastingfuncties in Hydra-K-Q

Op basis van de voorgeschiedenis van de Q-variant, de huidige kennis en het huidige instrumentarium (Hydra-K versie 3.6.1) wordt geadviseerd om voor “Steenzetting zuilen”, “Breksteen” en “Afschuiven steenzetting” alleen de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ te hanteren. Hiermee wordt de onnauwkeurigheid in de golfcondities voor situaties met $s_{op} < 0,02$ geaccepteerd (net als in het verleden binnen Hydra-Q is gedaan).

Aanbevolen wordt om de Q-variant een waarschuwing te laten genereren indien de golfcondities bepaald met de belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ resulteren in $s_{op} < 0,02$. In het geval dat een dergelijke waarschuwing wordt gegenereerd kunnen de met Hydra-K-Q bepaalde Hydraulische Randvoorwaarden niet zondermeer worden gebruikt voor het uitvoeren van een toetsing: er dient een geavanceerde toets plaats te vinden. Optioneel zou Hydra-K-Q kunnen worden aangepast zodat een geavanceerde gebruiker in voorkomende gevallen alsnog met de belastingfunctie voor $s_{op} < 0,02$ golfcondities kan bepalen (dit vereist dat het mogelijk wordt om negatieve waarden voor de coëfficiënt “b” te hanteren).

De beoordeling van de toepasbaarheid van de belastingfuncties heeft laten zien dat er situaties denkbaar zijn waarbij het toepassen van de vereenvoudigde belastingfunctie niet leidt tot het juiste illustratiepunt en de daarbij behorende hydraulische randvoorwaarden. De voorgestelde belastingfunctie en coëfficiënten gaan immers uit van een monotoon stijgende belastingfunctie bij toenemende golfhoogte en/of golfperiode. Dit is het geval voor alle voorgestelde vereenvoudigingen, mits sprake is van een golfsteilheid van $s_{op} > 0,02$. De voorgestelde coëfficiënten, en daarmee de methode, zijn niet geldig voor situaties waarbij geldt $s_{op} < 0,02$. Voorgesteld wordt om een waarschuwing in te bouwen voor het geval men buiten het geldigheidsbereik van deze aanpak komt ($s_{op} < 0,02$). Hiermee wordt het geldigheidsbereik gewaarborgd en kan de methode (inclusief waarschuwing) als algemeen toepasbaar worden beschouwd.

Een deel van de coëfficiënten en aanbevelingen is gebaseerd op berekeningen met een vereenvoudigde versie van Hydra-K-Q. Het wordt aanbevolen om deze berekeningen te verifiëren met de volledige Hydra-K-Q versie. Hiervoor is het waarschijnlijk noodzakelijk om enkele (beperkte) aanpassingen door te voeren in Hydra-K-Q, waardoor het mogelijk wordt om de eigenschappen van de stormen (golfcondities zoals H_s en T_p) in het faalgebied nader te bestuderen.

In het kader van dit rapport is een nadere invulling gegeven aan de Q-variant binnen Hydra-K. Het is wenselijk om ook te onderzoeken of deze voorgestelde aanpassingen aan Hydra-K-Q ook kunnen worden doorgevoerd in Hydra-Zoet.

7.2 Verloop belasting als functie van rekenwaterstand

Op basis van de huidige Hydra-K-Q implementatie (versie 3.6.1) is vastgesteld dat Hydra-K-Q betrouwbare resultaten geeft, uitgezonderd het bereik C “Golfcondities juist onder toetspeil”, waarbinnen de golfcondities in sommige gevallen afnemen bij toenemende rekenwaterstand.

Om dergelijke situaties te voorkomen wordt voorgesteld om een controle uit te voeren op de S_{50} en S_{median} . Indien geldt $S_{50} < S_{\text{median}}$, dan dienen de maximale golfcondities te worden gehanteerd uit het interval [rekenwaterstand($S_{50} = S_{\text{median}}$), toetspeil]. Om deze controle te kunnen uitvoeren dient Hydra-K-Q te worden aangepast: de S_{median} wordt op dit moment niet bepaald en/of uitgevoerd door Hydra-K-Q.

Aanbevolen wordt om allereerst extra uitvoer te genereren en met behulp van deze extra uitvoer aanvullende tests uit te voeren. Indien gewenst kan dan later een aanpassing in Hydra-K-Q worden geïmplementeerd welke het gebruiksgemak van Hydra-K-Q in bereik C verbetert.

Daarnaast wordt aanbevolen om te onderzoeken of een andere methode (FORM/numerieke integratie) tot vergelijkbare randvoorwaarden leidt als Hydra-K-Q.

7.3 Externe test-ronde Hydra-K-Q

Op basis van de resultaten van de externe test-ronde stellen wij de volgende acties/aanpassingen voor ten aanzien van Hydra-K-Q (bekledingenmodule):

- Automatiseren door te rekenen waterstanden
- Consistentie/eenduidige naamgeving van bekledingen in uitvoer
- Toevoegen van een toelichting op gebruik profielgegevens in Hydra-K-Q aan de handleiding
- Aanpassen “rekenrecept” zodat er een eenduidig/consistent verloop van de golfcondities als functie van de rekenwaterstand wordt gegenereerd, inclusief golfcondities behorende bij toetspeil
- Toevoegen van een opmerking aan de handleiding van Hydra-K-Q waaruit blijkt dat het niet mogelijk is om te rekenen met de periodemaat als extra stochast, zoals dit wel mogelijk is voor de hoogtetoets
- De gebruiker meer inzicht geven in de gehanteerde bodemligging van de gekozen uitvoerlocatie (in verband met ondergrens rekenwaterstand)

Naast specifieke acties voor Hydra-K-Q (bekledingenmodule), zijn er ook aanpassingen en acties welke meer generiek op Hydra-K van toepassing zijn. Deze laatste acties en/of aanpassingen vallen buiten de scope van Hydra-K-Q en moeten vanuit een ander project

worden opgepakt. Onderstaand een overzicht van de acties welke betrekking hebben op Hydra-K:

- Aanpassen grootte van het topografische kaartje in Hydra-K
- Mogelijkheid om via topografisch kaartje locaties te selecteren
- Toelichting/aanpassen “handje” na selectie van “pan-modus”
- Mogelijkheid tot invoer van complexere profielen
- Mogelijkheid tot opslaan van eigen profielen
- Overnemen van dijknormalen van databases beschikbaar bij waterschappen
- Cursus Hydra-K voor gebruikers die nog niet eerder met Hydra-K hebben gewerkt.
- Aanpassen installatie (beschrijving) zodanig dat installatie plaats vindt op compatibele platforms (windows versies) en met de juiste systeem-rechten

7.4 Implementatievoorstel

Op basis van de conclusies en aanbevelingen (zie paragraaf 7.1 tot en met 7.3) wordt het volgende voorgesteld ten aanzien van benodigde aanpassingen aan Hydra-K-Q:

- Implementatie coëfficiënten voor belastingfuncties
- Implementatie waarschuwing bij vinden van $s_{op} < 0,02$ in geval van belastingfunctie voor $s_{op} > 0,02$ (voor “Steenzetting zuilen” en “breuksteen”)
- Implementatie van een mogelijkheid om handmatig coëfficiënten te definiëren (eventueel in de geavanceerde modus)
- Weergave van de gehanteerde bodemligging van de gekozen uitvoerlocatie
- Automatiseren door te rekenen waterstanden (inclusief afhandeling $s_{50} < S_{median}$)
- Genereren S_{median} als aanvulling op de uitvoer
- Verbeteren consistentie/eenduidige naamgeving van bekledingen in uitvoer

8 Referenties

BMT ARGOSS & HKV (2009). Berekening van illustratiepunten in irreguliere faalgebieden met Hydra-K Fase 2: Testrapport Hydra-K 3.5.2. C.F. de Valk, B. Kuijper, C.P.M Geerse. May 2009.

Bosters, R. (2008). Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RWS Zeeland, PZDT-R-08300, 1 september 2008.

CIRIA; CUR; CETMEF (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). C683, CIRIA, London.

Deltares (2009). Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities. Stabiliteit steenzettingen. Deltares rapport 1200193-001-HYE-0003. M. Klein Breteler. November 2009.

Deltares (2011a). Begeleidend memo bij uitlevering testversie Hydra-K bekledingen. Deltares memo 1204143-002-HYE-0003. J. Beckers. Februari 2011.

Deltares (2011b). Hydraulische randvoorwaarden voor Ameland en de Friese Kust. Deltares-rapport 1204042-000-HYE-0004. J.C.C. van Nieuwkoop en A.J. Smale.

HKV (2008). Gebruikershandleiding Hydra-Q, versie 1.2a. HKV rapport PR1240. B.J. Vreugdenhil, M.T. Duits, A. Hoekstra, J.M. van Noortwijk, I.B.M. Lammers en R.P. Waterman. Maart 2008.

HKV (2010a). Golfcondities bekledingen uit Q-variant Hydra-K en WindWater – Vergelijking Probabilistische en deterministische aanpak voor de Westerschelde. C. Geerse en D. van Haaren. Maart 2010.

HKV (2010b). Pilotstudie aangepaste Q-variant in Hydra-K. Vergelijking probabilistische en deterministische aanpak voor de Westerschelde. HKV-rapport PR1957.10. D. van Haaren en C. Geerse. Juli 2010.

HKV (2011). Aanpassing bepaling illustratiepunt in Hydra-K voor aangepaste Q-variant. HKV Memo PR1564.13/A2206. D. van Haaren. Maart 2011.

HKV & Alkyon (2011) Hydra-K versie 3.6.2, Functionele documentatie versie WTI-2011. HKV & Alkyon rapport PR1564. J.W. Stijnen, B.I. Thonus, F.L.M. Diermanse, C.P.M. Geerse, R.P. Nicolai. Februari 2011.

Rijkswaterstaat (2007). Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen. ISBN 978-90-369-5762-5. September 2007.

Rijkswaterstaat (2008). Aanpassing toetsmethodiek Afschuiving bij steenzettingen. R. Bosters. 1 september 2008.

Svasek (2008). Toepasbaarheid klassieke belastingfuncties voor ontwerp dijkbekleding Oosterschelde. Svasek memo MJA/07087/1340. M. Jansen. Februari 2008.

Svasek (2010). Nieuwe belastingfuncties steenbekledingen. Svasek memo PvdR/09358/1573/D. P. van de Rest. Januari 2010.

TAW (2002). Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. November 2002.

Wolters en van Gent (2010). Oblique wave attack on cube and rock armoured rubble mound breakwaters. Proceedings ICCE 2010.

A “standaard format” zoals gehanteerd in testronde

B Deelnemers externe testronde

Wetterskip Fryslân
J. Langenberg

Waterschap Scheldestromen
H. van der Sande

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
P. van Goessen

Waterschap Hunze en Aa's
K. Lentz

Rijkswaterstaat Waterdienst
E. Regeling

Royal Haskoning
L. van Nieuwenhuijzen

Witteveen+Bos
M. Jansen

C Terugmelding deelnemers externe testronde

C.1 Terugmelding Wetterskip Fryslân, J. Langenberg

Email:

Hallo Jacco en Alfons,

Hierbij een aantal opmerkingen over het gebruik en werking van Hydra-K.
Zoals aangegeven wachten wij met verdere testen totdat er een betere versie beschikbaar is.

Vriendelijke groet,
Jan Langenberg

Opmerkingen over Hydra-K

Beeldscherm vullend.

Invoergetallen met punt of komma.

Kaartje te klein, bij inzoomen spoor bijster vanwege ontbreken topografische details.

Dijkprofielen moeten naar eigen keuze kunnen worden gemaakt en opgeslagen.

Dijkprofiel met meerdere taluds en minimaal 2 bermen moet mogelijk zijn.

Bodemhoogte uitvoerpunt?

Locaties moeten op kaart kunnen worden geselecteerd, coördinaten zijn van ondergeschikt belang.

Voor het invoeren en opslaan van gegevens zou Hydra-K minstens zo flexibel en duidelijk moeten zijn als Hydra-M.

Rekenen:

Wat doet herhalingsstijd falen?

Bij eigen invoer profiel zie ik in de output eerst het Standaard _2 profiel, daaronder weer Identificatie Standaard_2, maar dan met de door mij ingevoerde profielgegevens, daaronder nog een keer hetzelfde, dan nog een keer, daarna een tabel met waterstand windsnelheid enz. Offshore en Nearshore (wat is NaN?), daarna nog een keer mijn profielgegevens, waarna Faalmechanisme Golfoploop met weer dezelfde profielgegevens. Al met al zeer onduidelijk en onoverzichtelijk.

Als ik Uitvoer opslaan als All Files (*.*) (waarom geen andere keuze?) doe, vind ik geen opgeslagen bestand terug

Van verdere testen zien wij af totdat er een meer werkbare, gebruiksvriendelijke versie beschikbaar is.

Jan Langenberg,
22 februari 2011

C.2 Terugmelding Waterschap Scheldestromen, H. van der Sande

Jacco,

wat ik nog even wil melden is dat het kaartje waarop je kunt zien welk uitvoerpunt gekozen is erg handig is. Het zou helemaal mooi zijn als een grafische selectie mogelijk is

succes met het verder testen

mocht je nog iets willen over mijn opmerkingen dan hoor ik wel van je

=====

=====

Hoi Jacco en Dennis,

gisteren niet meer op kantoor aan de computer gezeten
vandaar dat ik het nu nog even doe.

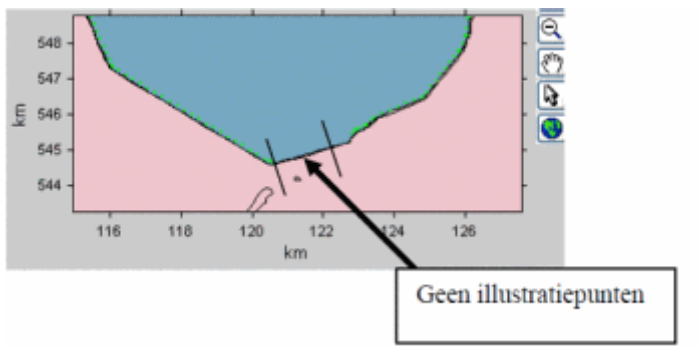
in het bijgevoegde bestand staan mijn bevindingen voor de golfbelasting van de bekleding.
het enige wat op dit moment mogelijk is is een onderlinge vergelijking te maken tussen de
golfbelasting bij oploop en bij bedekleding binnen hydra. Graag zou ik dit uitbreiden naar
deterministische golfbelasting zoals deze bij PBZ gehanteerd worden maar de database
verschilt.

soms blijven de randvoorwaarden van de bekleding (H_s en T_m-1) geheel onder het niveau
van die bij de oploop dat lijkt vreemd. soms ontbreken bij bepaalde waterstanden de
golfbelasting. en voor een deel is er geen belasting bij toetspeil bepaald

voor meer detail verwijs ik naar het bijgevoegd bestand. Helaas heb ik door tijdgebrek geen
volledig en consistent verhaal voor elkaar kunnen krijgen toch hoop dat dit bestand met
opmerking je verder kan helpen om de testronde te kunnen afronden succes ermee

C.3 Terugmelding, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, P. van Goessen

Ik heb uitgebreid het programma getest en de resultaten vergeleken met de bestaande resultaten van de oude versie. Hieruit blijkt dat de resultaten van de nieuwe versie precies overeen komen met de oude versie. Er waren maar twee uitzonderingen: op Texel in Eijerland zijn voor de nieuwe versie niet voldoende gegevens beschikbaar om de berekeningen uit te voeren. Op die locatie heb ik een fout melding gekregen. Die vind je onderstaand. Ook t.h.v. dijkkring 12 waren er weinig illustratiepunten om de berekeningen uit te voeren (zie hieronder). Ik vind dat je voor de bekledingen die illustratiepunten nodig heb om de juiste hydraulische randvoorwaarden te bepalen voor de berekeningen.



Wat ik positief vond t.o.v. de oude versie is de gebruiksvriendelijkheid van het nieuwe programma en de uitgebreide user-interface. Ook voor de laaggelegen bekleding kun je die nieuwe versie gebruiken om de hydraulische randvoorwaarden te bepalen. Dat vind ik uitstekend.

We hebben een Excelbestand gekregen om onze bevindingen te beschrijven, maar die vind ik een beetje in herhalingen treden van hetzelfde proces. Ik weet niet wat jouw bevindingen zijn, maar misschien kunnen we gezamenlijk onze bevindingen doorgeven, dan kun je mijn opmerkingen gelijk meenemen.

C.4 Terugmelding Royal Haskoning, L. van Nieuwenhuijzen

Dag Jacco,

Hierbij mijn bevindingen ten aanzien van Hydra-KQ.

Het lijkt aardig te werken, al duiken er wat vreemde resultaten op ($T_p < T_m$) of een enkel niveau met erg hoge T_p .

Her en der heb ik ook wat generieke opmerkingen geplaatst.

Graag hoor ik tijdig wanneer jullie dit willen bespreken.

Met vriendelijke groet,

L.W. (Leo) van Nieuwenhuijzen

Kust & Rivieren

C.5 Terugmelding Witteveen+Bos, M. Jansen

Beste Alfons en Jacco,

Bijgaand mijn bevindingen bij het testen van Hydra K-Q.

Algemeen:

- Hydra K-Q kreeg ik moeilijk aan de praat onder Win7 (uiteindelijk moet je terug naar compatibel met win2000)
- golfhoogten nemen bij locaties met afluende wind inderdaad af bij hogere waterstanden
- ik heb een aantal foutmeldingen gekregen bij gras
- Vaak kreeg ik geen waarden voor het toetspeil
- Hydra K-Q geeft voor aanlandige locaties realistische waarden
- gras reageert duidelijk anders dan zuilen/blokken

Mochten jullie nog vragen hebben dan hoor ik dir graag.

Met vriendelijke groet,

Maarten