



Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen

Deel 2 van 3; achtergrond detailadviezen

Deltares en RWS-Waterdienst

23 februari 2011
Definitief rapport

Documenttitel	Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen deel 2 van 3 Achtergrond detailadviezen
Verkorte documenttitel	Handleiding detailadviezen PBZ
Status	Definitief rapport Dit rapport is een aanpassing van de handleiding hydraulische detailadviezen 2007 [E. Arnold, S. Jacobse, P. van de Rest; "Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2007 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; deel 2 van 2; Achtergrond detailadviezen"]
Datum	23 februari 2011
Projectnaam	Advieswerk Oosterschelde en Westerschelde
Projectnummer	1631
Auteurs update	Pol van de Rest en Erik Arnold
Opdrachtgever	Deltares en RWS-Waterdienst
Referentie	1631/U11013/C/PvdR
Referentie Deltares	1202551-001-HYE-0007

VOORWOORD

Deze handleiding is geschreven als achtergrond bij de detailadviezen aan het Projectbureau Zeeweringen. In een detailadvies voor het Projectbureau Zeeweringen worden alle randvoorwaarden voor het ontwerp vastgelegd. Deze randvoorwaarden bestaan uit golfcondities en waterstanden die geldig zijn voor een gedefinieerd dijktraject en andere voorwaarden waaronder het ontwerp geldig is. Adviseren in een continue veranderende technische en maatschappelijke omgeving vraagt om actuele kennis. Om een hoogstaande kwaliteit van de detailadviezen te garanderen en de gevolgde aanpak voor de toekomst vast te leggen is deze handleiding opgesteld waarin de achtergronden en ervaringen staan beschreven.

De handleiding bestaat uit 3 delen. Het voorliggende deel 2 beschrijft de achtergrondkennis en historie van de ontwikkelingen van de hydraulische belastingen. Daarnaast worden praktische aanwijzingen gegeven voor het adviseren aan het Projectbureau Zeeweringen. Deel 1 is onderverdeeld in een deel 1A [ref 30] en een deel 1B [ref 31]. Deze beschrijven de methodiek die respectievelijk voor en na april 2010 is toegepast: stapsgewijs wordt uitgelegd welke zaken in een detailadvies gecontroleerd en beschreven dienen te worden. In deel 3 [ref 32] zijn de notities verzameld die toegepast worden bij de detailadviezen. In voorliggend rapport is de handleiding van 23 november 2007 [ref 29] geactualiseerd.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Doelstelling	2
1.4	Leeswijzer	2
2	ACHTERGROND DETAILADVIEZEN	3
2.1	Veiligheid van waterkeringen en opzet projectbureau Zeeweringen	3
2.2	Toetsen en ontwerpen	4
2.3	Faalmechanismen voor dijkbekledingen	4
2.4	Detailadvies	5
3	HISTORIE VAN ADVISERING	6
3.1	Advisering van 1996 tot 1998	6
3.2	Aanpak detailadviezen 1998 tot 2001	6
3.3	Aanpak detailadviezen RIKZ 2001 tot 2004	6
3.4	Aanpak detailadviezen RIKZ 2004 tot januari 2010	7
3.5	Aanpak detailadviezen vanaf januari 2010	10
4	ACHTERGROND HYDRAULISCHE BELASTING	11
4.1	Inleiding	11
4.2	Historie berekening golfcondities	11
4.3	Methode berekening golfcondities	16
4.3.1	Golfmodellering met SWAN	16
4.3.2	Golfstatistiek op diepwater	18
4.3.3	Windsnelheden	19
4.4	Correctiewaarden	20
4.4.1	Effect van stroming	20
4.4.2	Correctie SWAN	21
4.5	Berekening ontwerpwaarden voor golven tot april 2010	23
4.5.1	Bepalen tabellen met maatgevende golfcondities	23
4.5.2	Keuze maatgevende tabel voor ontwerp dijkbekleding	25
4.6	Berekenen ontwerpwaarden voor golven na april 2010	26
4.6.1	Bepalen tabellen met maatgevende golfcondities	26
4.6.2	Invloed van lange golven op stabiliteit toplaag ($\xi_{op} > 2$)	28
4.7	Windwater	29
4.8	Golven bij lagere waterstanden	29
4.9	Bepaling ontwerppeilen en waterstanden	30
5	TABELLEN IN DETAILADVIEZEN	32
5.1	Tabellen met golfcondities	32
5.2	Tabel met ontwerpwaarden waterstanden	33

5.3	Ligging randvoorwaardenvakken	33
6	ACCENTVERSCHILLEN ADVISERING WESTERSCHELDE, OOSTERSCHELDE EN MONDING	34
6.1	Achtergrond verschillen	34
6.2	Specifieke zaken Westerschelde	34
6.3	Specifieke zaken Oosterschelde	34
7	TIPS & TRUCS; HOE OM TE GAAN MET MINDER REGULIERE ADVIEZEN?	37
7.1	Inleiding	37
7.2	Havens	37
7.3	Nollen en andere strekdammen	38
7.4	Maatgevende windrichting is aflagdig	39
7.5	Afwijkende waarden voor golfperiode	40
7.6	Hoge voorlanden en schorerosie in relatie tot golfbelasting	41
7.7	Geulmigratie in relatie tot golfbelasting	42
7.8	Duinvoorlanden en brede havendammen	43
7.9	Bepalen van stromingscorrectie bij dijkvakopsplitsing of havenmond	44
BIJLAGEN		
Bijlage 1	Projectstructuur	
Bijlage 2	Hand out WindWater2004 en WindWater2010	
Bijlage 3	Hand out spreadsheetmethode Golfbelastingen in haven en afgeschermd gebied	

VERKLARENDE WOORDENLIJST

Begrip	Omschrijving
Astronomisch getij	Het getij zonder invloed van wind. Voor Nederland is dit een tweemaal daags getij.
Basispeil (jaartal)	Extreem hoge waterstand met (per definitie) een overschrijdingsfrequentie van 1/10000 jaar, afgeleid voor het genoemde jaartal. Met behulp van het Basispeil en de rest van de overschrijdingslijn is voor Zeeland de 1/4000 ^{ste} waterstand afgeleid.
Belastingduur	Tijdsduur waarop de belasting inwerkt op een bepaalde taludhoogte.
Binnenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
Boventafel	Deel van het dijktaalud boven gemiddeld hoog water
Boventalud	Deel van het dijktaalud boven de berm (stormberm / onderhoudsberm)
Buitenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
Dijkpaal	Paal op de dijk die als referentie geldt voor het Waterschap.
Dijkpaal hectometrerings	Geografische aanduiding van een dijktraject gebaseerd op de referentielijn van het Waterschap.
Dijktafelhoogte	Het ontwerppeil plus de minimum waakhogte.
Dijktraject	Een deel van de zeewering wat in 1 ontwerpnota wordt behandeld variërend in lengte tot maximaal 4 – 5 kilometer (ook wel dijkvak genoemd)
Dijkvak	Zie dijktraject
Dijkvaksegment	Onderdeel van een dijkvak. Lange dijkvakken waarbij de golfbelasting varieert worden opgedeeld in meerdere segmenten (ook wel randvoorwaardenvakken genoemd).
Filterlaag	Tussenlaag in de taludbekleding die uitspoeling van fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding voorkomt.
Gemiddelde golfperiode	Golfperiode genaamd $T_{m-1,0}$ die gebruikt wordt voor het dimensioneren van breuksteen. Deze is gedefinieerd als de gemiddelde periode uit een tijdreeks. $T_{m-1,0}$ wordt door de ontwerper bepaald door gebruik te maken van de vuistregel $T_{m-1,0} = T_{pm} / 1,1$ [ref 28]. (Voor T_{pm} zie definitie maatgevende piekperiode)
Gemiddelde piekperiode	Gemiddelde piekperiode (T_p) bepaald op basis van de energiedichtheid van de in het spectrum aanwezige pieken.
Getijtafel	Een tabel die de tijden van eb en vloed en de haventijd voor verschillende kustplaatsen aangeeft.
Getijvolume	De hoeveelheid water die per getij door een dwarsprofiel stroomt.
Golfbelasting	Kracht die de golven uitoefenen op een constructie. Dit is de combinatie van golfhoogte en golfperiode, bij een bepaalde waterstand, windsnelheid en windrichting.
Golfhoogte	Verticale afstand tussen de top en het dal van een golf. De gebruikte significante golfhoogte H_s (is ongeveer gelijk aan het gemiddelde van het hoogste één derde deel van de golven).
Golfploop	Het uitrollen van golven op het talud.
Golfploophoogte	De golfploophoogte is de hoogte die door 2% van de inkomende golven door golfploop overschreden wordt.
Golfoverslag	Golfploop hoger dan de kruin. Hierbij komt het water dus over de dijk.
Golfperiode	Maat voor de lengte van de golf, bepaald t.o.v. een vaste positie. Het is dus de tijd die verstrijkt tussen het passeren van twee golfkammen.
Golfrichting	Maat voor de gemiddelde richting van de golven, t.o.v. het noorden.
Golfspectrum	Statistische beschrijving van de golven over een vaste periode (bijv. 20 minuten). Hierbij wordt de energiedichtheid van alle aanwezige golflengtes of golffrequenties beschreven in een 'soort histogram'.
Golfsteilheid	Golfhoogte gedeeld door de golflengte. Als de golf te steil wordt, zal deze breken.
Havendam	Afschermdam bij een havenmondning.
Hoog voorland	Hoge voorlanden zijn buitendijkse hoge gebieden (bijvoorbeeld schorren) die tussen de locatie waarop de randvoorwaarden bekend zijn en de dijk liggen.
Hoogwaterstand	De (gemiddelde) waarde voor de waterstand bij hoog water (GHW). Deze GHW-stand is een statistisch gemiddelde en is bepaald op basis van het slotgemiddelde van 1991. Zie ook getijtafels.

Begrip	Omschrijving
Hoogwaterstijging	Effect van zeespiegelstijging en menselijk ingrijpen. De zeespiegelstijging veroorzaakt niet alleen een toename van het gemiddelde zeeniveau, maar ook een toename van de hoogwaterstanden (en laagwaterstanden). Daarnaast kunnen veranderingen van het getij optreden door menselijk ingrijpen in het kuststelsel en door de aanpassing van de morfologie aan deze ingrepen. Dit treedt voornamelijk op in estuaria.
Hydraulische Randvoorwaarden	Hydraulische Randvoorwaarden die wettelijk vastgesteld zijn door de minister van Verkeer en Waterstaat.
Kreukelberm	Beschermende constructie over maximaal 10 meter voor de buitenteen van de dijk (vaak breuksteen) om de erosie (onder maatgevende omstandigheden) bij de teen vandaan te houden. Dit is nodig om de stabiliteit van de steenbekleding en de dijklichaam te kunnen garanderen. De kreukelberm wordt ook wel teenbestorting genoemd.
Kruin	Hoogte van de waterkering. Als kruinhoogte geldt de hoogte van de buitenkruinlijn.
KustDB 2006-Steun	Voor de Zeeuwse wateren zijn de golfcondities in de zogenaamde database "KustDB 2006-Steun" opgeslagen. Deze ontwerpwaarden zijn berekend met behulp van het golfmodel SWAN (versie 30.62 en versie 30.75).
Laagwaterstand	De (gemiddelde) waarde voor de waterstand bij laag water. Deze GLW-stand is een statistisch gemiddelde en is bepaald op basis van het slotgemiddelde van 1991. (zie slotgemiddelde en getijtafels)
Legger	Een bij besluit van de waterbeheerder vastgesteld register van waterstaatswerken (bijvoorbeeld boezemwateren) met daarin per waterstaatswerk de vereiste afmetingen, de onderhoudsplichtigen en onderhoudsverplichtingen.
Maatgevende piekperiode	De maatgevende piekperiode T_{pm} , ook wel karakteristieke piekperiode genoemd is gedefinieerd als het maximum van de blokpiekperiode T_{pb} (gebaseerd op de hoogste piek) en de equivalente blok piekperiode T_{pbeq} (zie [ref. 28, Appendix B] voor de precieze definities)
Minimum waakhoogte	Som van golfploophoogte t.o.v. het ontwerppeil en een eventuele toeslag voor bui-oscillaties en buistoten. Voor weinig of niet aan golfbeweging blootgestelde hoofdwaterkeringen bedraagt de minimum waakhoogte minstens 50 cm.
Nol	Een nol is het overblijvende gedeelte dijk van een oude (al verdwenen) primaire zeewering, ten gevolge van een dijkval of stormvloed.
Ondertafel	Het gedeelte van het dijktafdeel beneden gemiddeld hoog water.
Ondertalud	Het taluddeel tussen de teen van de dijk en de stormberm (zie ook begrip teen van de dijk)
Ontwerppeil (jaartal)	Extreem hoge waterstand in het getijgebied met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan die voor het dijkvak gestelde wettelijke norm, afgeleid voor het genoemde jaartal. Het ontwerppeil is het uitgangspunt voor de waterstand bij het ontwerp van de zeewering. In Zeeland is de wettelijke norm 1/4000 jaar en het Ontwerppeil wordt voor het jaar 2060 bepaald. Daarbij wordt het ontwerppeil in de Westerschelde bepaald door het Basispeil (1985) te vermeerderen met de verwachte zeespiegelstijging + een eventuele toeslag voor buistoten en/of seiches en langs de Oosterschelde het Toetspeil 2011 (HR 2006, [ref. 15])
Ontwerpwaarden	De waarden van golfcondities en/of waterstanden die gebruikt worden voor het ontwerp. Deze bestaan uit de gemiddelde waarde bij de gewenste overschrijdingsfrequentie plus eventuele toeslagen. De hoogte van de toeslagen (bijvoorbeeld voor zetting) zijn afhankelijk van de levensduur van het ontwerp.
Opzet	Opstuwings van de waterstand t.o.v. de astronomische waterstand. Deze opzet wordt veroorzaakt door de wind, en bepaalt in belangrijke mate de ontwerpwaterstand.
Overschrijdingsfrequentie	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
Overschrijdingslijn	Een grafiek waarin wordt aangegeven met welke frequentie een bepaalde parameter wordt overschreden
PBZ	Projectbureau Zeeweringen
Piekperiode	Maat voor de golfperiode die aangeeft bij welke golfperiode de hoogste energiedichtheid zit.
Plaat	Met laag water boven water uitstekende bodemgedeelte. Deze kan zowel uit zand als uit zand/slib bestaan.
Primaire waterkering	Waterkering die de veiligheid conform de Waterwet moet garanderen. Deze wordt eens per zes jaar door de beheerder getoetst op veiligheid (voor 2009 was dit eens per vijf jaar volgens de Wet op de Waterkering uit 1996).
Randvoorwaardenvak	Dit is een dijkvakgedeelte waarvoor randvoorwaarden bepaald zijn.

Begrip	Omschrijving
Referentielijn	Denkbeeldige lijn over de kruin van de primaire zeekering. Deze wordt gebruikt om de geografische begrenzing van een dijkvak aan te geven.
Representatieve bodemligging	Gemiddelde bodemligging over alle uitvoerpunten van het dijkvak minus de standaardafwijking bodemligging over alle uitvoerpunten van het dijkvak.
Secundaire waterkering	Niet-primaire waterkering in het landschap. Deze worden ook wel slaperdijken genoemd, en hebben tot functie om het gevolg van een eventuele doorbraak te beperken.
Schor	Buitendijks, begroeid hoog voorland. Schorren ontstaan en verdwijnen cyclisch door sedimentatie en erosie van slibhoudend sediment.
Slik	Buitendijks, niet of nauwelijks begroeid voorland dat beneden gemiddeld hoog water ligt.
Slotgemiddelde	Waarde van een grootheid op een aangegeven tijdstip volgens een veeljarige trendlijn, waarin de invloeden van toevallige korte schommelingen als van langduriger 'astronomische' schommelingen zo goed mogelijk zijn uitgeschakeld. Het genoemde tijdstip is doorgaans het slot van een decennium.
Secundaire waterkering	Niet-primaire waterkering in het landschap. Deze worden ook wel slaperdijken genoemd, en hebben tot functie om het gevolg van een eventuele doorbraak te beperken.
Stormberm	Dijkplateau aangelegd op ongeveer het ontwerppeil. Deze heeft als functie om golfoploop te remmen en fungeert daarnaast als werkweg.
Stormduur	Tijdsduur waarover de storm zal leiden tot een verhoogde belasting ten opzichte van dagelijkse omstandigheden. Afhankelijk van het doel kan deze bepaald worden op basis van de windsnelheid of de opzet.
Strekdam	Stenen dam vanaf de dijk richting de geul die tot doel heeft om de stroming bij de vooroever te verminderen. Daarnaast kunnen strekdammen tot doel hebben om de golfwerking te verminderen.
Teenbestorting	Zie kreukelberm
Toetsing	Voorgeschreven zesjaarlijkse voorgeschreven controle van de veiligheid van de zeekeringen. Hierbij wordt door de beheerder getoetst of het voorgeschreven veiligheidsniveau de komende vijf jaar gegarandeerd kan worden.
Toetspeil (jaartal)	De waterstand behorende bij de normfrequentie van de betreffende waterkering, die bij de toetsing wordt gebruikt, afgeleid voor het genoemde jaartal. De toetspeilen zijn vastgelegd in de 'Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen; voor de derde toetsronde 2006-2011 (zie HR2006, [ref 15]), en beschikbaar gesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat.
Toetswaarde	Waarde voor golfcondities of waterstanden die gebruikt wordt voor de toetsing.
Toplaagdikte	Het gemiddelde van de elementhoogte van de toplaag van de dijkbekleding.
Verborgten glooiing	Een bekleding, welke is ontworpen op een 1/4000ste situatie, maar welke niet zichtbaar is na de uitvoering, omdat deze verborgen ligt onder de toplaag van de dam.
Vooroever	Waterbodem in de zone vlak voor de teen van een dijk. Dit is de definitie volgens Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen, uitgebracht door Ministerie van Verkeer en Waterstaat in september 2007 [ref. 29]
Vooroeverbestorting	Met breuksteen versterkte vooroever. Wordt toegepast bij sterk meanderende geulen die dichtbij de dijk liggen.
Waakhoogte	De hoogte van een kruin van een waterkering boven het ontwerppeil.
Wet op de Waterkeringen (1996)	De Wet op de waterkering geeft een samenhangend beeld van veiligheid, bestuur en beheer van de primaire waterkeringen.
Waterwet (2009)	Opvolger van de Wet op de Waterkeringen. De Waterwet is de wettelijke vastlegging van het integrale waterbeheer dat in Nederland de afgelopen twintig jaar is opgebouwd. Grondwater, waterkwaliteit en waterkwantiteit zijn nu samen in een wet ondergebracht.
WSZV	Waterschap Zeeuws-Vlaanderen
WSS	Per 1 januari 2011 zijn waterschap Zeeuwse Eilanden en waterschap Zeeuws-Vlaanderen gefuseerd tot één waterschap in Zeeland. De nieuwe naam van het waterschap wordt Waterschap Scheldestromen.
WZE	Waterschap Zeeuwse Eilanden

Begrip	Omschrijving
Zandhonger	Het fenomeen waarbij (oude) getijdengeulen te ruim zijn voor het passerende getijvolume waardoor de stroomsnelheden in de geulen erg laag zijn en deze functioneren als "sedimentvang". Veel vrijkomend sediment verdwijnt in de diepe geulen
Zeespiegelstijging	Toename van het gemiddelde zeeniveau t.o.v. NAP.

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Het projectbureau Zeeweringen is in 1996 opgericht als projectbureau binnen Rijkswaterstaat om de dijkversterking van de Zeeuwse dijken aan de Westerschelde en Oosterschelde te coördineren. Binnen dit projectbureau werkt Rijkswaterstaat met de beheerder van de zeeweringen (Waterschap Scheldestromen) samen om de dijkbekleding van ca. 325 kilometer dijk te versterken. De provincie Zeeland is nauw betrokken bij dit project als bevoegd gezag.

Vrij kort na de start van het projectbureau Zeeweringen werd aan het voormalige RIKZ de vraag gesteld om ontwerpwaarden te leveren voor het versterken van deze dijkbekledingen. Naast het leveren van ontwerpwaarden was er behoefte aan toegepaste advisering. Vanaf 1998 tot aan de opheffing in 2007 heeft het RIKZ via het project Dijkbekleding meegedacht en specialistisch advies geleverd t.a.v. de golfbelasting op en de veiligheid van zeeweringen. Hierna is deze taak ondergebracht bij de Waterdienst tot eind 2009. De Waterdienst heeft de inhoudelijke werkzaamheden bij Deltares ondergebracht. Vanaf begin 2010 is Svašek/Haskoning verantwoordelijk gesteld voor de dagelijkse advisering, rechtstreeks in opdracht van het projectbureau Zeeweringen. Voor de minder dagelijkse vraagstukken, zoals de update van deze handleiding vervult Deltares echter nog steeds de rol als kwaliteitsborger en gedelegeerd opdrachtgever.

De organisatie bij de hydraulische advisering aan PBZ, en het doorgelopen productschema bij de totstandkoming van een (detail-)advies is beschreven in Bijlage 1.

Voor het merendeel gaat het hier om unieke gedetailleerde adviezen die toegesneden zijn op de specifieke details van de betreffende locatie: het detailadvies. Vanaf 2004 zijn Svašek/Haskoning betrokken bij het schrijven van de detailadviezen. Daarnaast treden zij op als hydraulisch adviseur voor de ontwerpers van projectbureau Zeeweringen.

Deze handleiding is op verzoek van Deltares herzien door Svašek Hydraulics/Royal Haskoning in het kader van het project 'Steenbekledingen: Ontwerpbelastingen Zeeland'.

1.2 Probleemstelling

Voor toegepaste advisering is meer nodig dan inhoudelijke kennis van de fysica of van het ontwerpen van zeeweringen. Er wordt immers niet alleen om een technisch inhoudelijk advies gevraagd, maar om een advies te leveren wat toegesneden is op de problematiek van het projectbureau Zeeweringen. Om dit goed te kunnen doen zijn o.a. de volgende ingrediënten nodig:

- Gebiedskennis;
- Kennis van de organisatie, rol, visie en werkzaamheden van het projectbureau;
- Kennis van het ontwerpproces;
- Ervaring met toegepaste advisering;
- Kennis van eerder geleverde adviezen.

Organisatorisch worden de adviezen door verschillende medewerkers van Svašek Hydraulics en Royal Haskoning geschreven. Deze brengen elk hun eigen ervaring en achtergrond in. Om een zelfde kwaliteit, bruikbaarheid en objectiviteit van de adviezen te kunnen garanderen is er behoefte aan het vastleggen van oude en nieuwe kennis, ervaring en gebruikte methodieken. Daarom heeft het Deltares gevraagd om een “handleiding” voor de detailadviezen voor het projectbureau Zeeweringen te actualiseren.

1.3 Doelstelling

Doel van de opdracht is het vastleggen van de achtergronden van de methoden voor het opstellen van detailadviezen voor de Ooster- en Westerschelde in het heden en verleden.

Deze handleiding heeft tot doel:

- Het proces van plan van aanpak tot detailadvies stapsgewijs toe te lichten (deel 1A en 1B [ref 30] en [ref 31]);
- Het adviesproces transparant en overdraagbaar te maken;
- Het vastleggen van de manier van werken in heden en verleden;
- Het vastleggen van achtergronden.

1.4 Leeswijzer

Voorliggende handleiding beschrijft de achtergronden van de methoden voor het opstellen van detailadviezen voor de Ooster- en Westerschelde. De handleiding bestaat uit 3 delen. Het voorliggende deel 2 beschrijft de achtergrond van de golfberekeningen en het gebruik van de detailadviezen door Projectbureau Zeeweringen. Deel 1A [ref 30] van de handleiding beschrijft de methodiek die gebruikt wordt vanaf april 2010 en in deel 1B is de methodiek beschreven, welke in de voorgaande periode werd gehanteerd [ref 31]. Daarnaast zijn in deel 3 [ref 32] de toegepaste memo's en notities verzameld.

In het voorliggende deel 2 van de handleiding wordt na deze inleiding in hoofdstuk 2 de achtergrond van de detailadviezen beschreven. De historie van advisering met daarin aandacht voor de aanpak van de detailadviezen komt aanbod in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt toegelicht hoe de hydraulische belastingen worden bepaald en wordt de achtergrond en historie daarvan beschreven. Hoofdstuk 5 beschrijft de inhoud van de tabellen uit de detailadviezen. Accentverschillen tussen advisering Oosterschelde en Westerschelde en monding komen aanbod in hoofdstuk 6. Ten slotte komen de tips & trucs voor minder reguliere adviezen aanbod in hoofdstuk 7.

2 ACHTERGROND DETAILADVIEZEN

2.1 Veiligheid van waterkeringen en opzet projectbureau Zeeweringen

Nadat in de jaren '50 tot '70 alle dijken op deltahoopte en sterkte gebracht waren was Zeeland 'veilig'. Echter, in de jaren '70 tot '90 werd regelmatig tijdens zware stormen door de beheerder schade aan de bekleding van de zeeweringen geconstateerd. Het ging hierbij vooral om losgeraakte betonblokken (zie figuur 2.1). Dit was de aanleiding om Projectbureau Zeeweringen op te richten. Sinds 1996 zorgt het Projectbureau Zeeweringen voor de versterking en vervanging van de steenbekleding van de 325 kilometer dijk langs de Wester- en Oosterschelde.

Over ongeveer 325 kilometer dijk langs de Wester- en Oosterschelde wordt de bekleding van de dijken verbeterd. Basisaanname hierbij is dat de keringen op hoogte zijn. Voor de toetsing en het ontwerp van de dijkbekleding moet de hydraulische belasting onder ontwerpcondities bekend zijn.

Om de veiligheid van de primaire waterkeringen op peil te houden schrijft de wet voor dat alle primaire waterkeringen in Nederland getoetst moeten worden. Volgens de wet op de Waterkering (WoW 1996) was dit eens per vijf jaar; volgens de Waterwet uit 2009 is dit eens per zes jaar. De beheerder van de dijk (veelal het Waterschap) controleert dan of de dijk voldoet aan de geldende veiligheidsnorm. Hierbij gebruikt hij de golfcondities en waterstanden die voorkomen bij een extreme storm onder normcondities. Voor Zeeland wordt hier gerekend met een kans van optreden van eens per vierduizend jaar. De hoogte en lengte van de golven en de hoogte van de waterstand zijn vastgelegd in de Hydraulische Randvoorwaarden [ref 15] (en [ref 14] voor de periode 2001-2006).



Figuur 2.1 stormschade Sloedam (dec. 1999)

2.2 Toetsen en ontwerpen

Na de periodieke toetsing door de beheerder (WSS) met de randvoorwaarden uit het Hydraulische Randvoorwaardenboek, worden met behulp van de golfcondities uit het detailadvies alle bekledingen van het betreffende dijktraject vervolgens nogmaals getoetst binnen PBZ (in de zogenaamde actualisatietoetsing of vrijgavetoetsing). Deze toetsing van PBZ is maatgevend (boven de toetsing door de beheerder) en vindt dus plaats met ontwerprandvoorwaarden. Uit de toetsing volgt welke delen van het dijktraject onvoldoende zijn en verbeterd moeten worden binnen het ontwerp. Dit wordt vastgelegd in het vrijgavedocument.

De golfcondities uit het Hydraulische Randvoorwaardenboek [ref 15] en de detailadviezen zijn beiden gebaseerd op golfcondities uit de database 'KustDB 2006-Steen'. De nabewerking van deze getallen is echter verschillend. Een groot verschil daarbij is dat de maatgevende golfbelastingen uit de HR m.b.v. een probabilistische benadering zijn bepaald en de golfbelastingen uit de detailadviezen d.m.v. een deterministische benadering. De deterministische waarden moeten in principe conservatiever zijn dan de probabilistische waarden.

De ontwerpers van Projectbureau Zeeweringen maken gebruik van de detailadviezen. Zij hebben het advies nodig om de bekleding van de dijk te kunnen dimensioneren. Projectbureau Zeeweringen bepaalt voor welke gebieden de detailadviezen gemaakt worden, afhankelijk van het jaar van uitvoering. Na uitvoering van de dijkverbetering wordt de nieuwe dijkbekleding nogmaals getoetst (binnen de overdrachttoetsing) met deze ontwerprandvoorwaarden uit het detailadvies of de update detailadvies door de beheerder (WSS).

Het ontwerpen van een nieuwe bekleding gebeurt op basis van de in de detailadviezen gegeven ontwerpcondities. Deze zijn geldig voor de levensduur van het ontwerp (50 jaar), en zijn in principe als zodanig altijd zwaarder dan de toetswaarden.

De rekenregels voor de toetsing van de beheerder, waarmee de stabiliteit en hoogte¹ van de zeewering berekend worden, zijn beschreven in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV [ref 43]). Hierin wordt ook beschreven voor welke faalmechanismen getoetst dient te worden, en welke grenswaarden leiden tot goedkeuren of afkeuren. Projectbureau Zeeweringen hanteert rekenregels, welke aansluiten op de VTV, maar aangevuld met recentere kennis. Deze rekenregels zijn beschreven in de 'Handleiding Ontwerpen Dijkbekleding'. Alleen steenbekledingen vallen binnen de scope van PBZ. Daarom beperken de detailadviezen zich tot de hydraulische belastingen van alleen STEENbekledingen.

2.3 Faalmechanismen voor dijkbekledingen

In het VTV K8, hoofdstuk 1 [ref 43], worden diverse typen dijkbekleding genoemd: gras, losgestorte materialen, beton, asfalt en verpakte materialen. Van deze bekledingstypen komen gras-, steen- en asfaltbekledingen het meest voor op primaire waterkeringen. Een dijk kan falen of bezwijken door verschillende faalmechanismen, afhankelijk van het

¹ De dijken worden geacht op hoogte te zijn, en wordt niet in rekening genomen door PBZ.

type bekleding. Bij een slecht doorlatende bekleding (asfalt) is bijvoorbeeld wateroverdruk een belangrijk faalmechanisme en bij poreuze bekledingen (steenzettingen) toplaaginstabiliteit. Het projectbureau beschouwt voornamelijk steenbekledingen (steenzettingen en losse breuksteen kreukelberm) en asfaltbekledingen. Overige dijkbekledingen zoals gras worden niet beschouwd tijdens de toetsing, maar kunnen wel toegepast worden in het ontwerp (bijv. boven de berm).

Wat betreft de steenzettingen zijn er vier verschillende faalmechanismen die kunnen leiden tot bezwijken.

1. stabiliteitsverlies van individuele toplaagelementen (toplaaginstabiliteit);
2. afschuiving van de bekleding en/of de ondergrond;
3. materiaaltransport vanuit ondergrond en onderlagen;
4. erosie van de onderlagen.

De stormschade die bij diverse stormen in de jaren '70 tot '90 geconstateerd werd, was veelal het gevolg van instabiliteit van de toplaag en/of materiaaltransport c.q. erosie van de onderliggende lagen.

2.4 Detailadvies

Met de term 'detailadvies' wordt een adviesdocument bedoeld waarin alle hydraulische aspecten worden beschreven die de medewerkers van Projectbureau Zeeweringen nodig hebben om de bekleding van de dijken langs de Oosterschelde en Westerschelde te kunnen ontwerpen². Dit betreft de hydraulische condities, de waterstanden en de maatgevende combinaties van golfhoogte en golfperiode bij een zekere windrichting en windsnelheid.

Daarnaast geeft het detailadvies advies hoe om te gaan met eventuele bijzonderheden van het dijktraject. Denk hierbij aan aanwezige strekdammen (nollen), uitwateringssluizen, schorren, eroderende vooroevers, aansluitingen op kunstwerken, duinen etc. Ook wordt in het detailadvies de ligging van de randvoorwaardenvakken behandeld. Een detailadvies richt zich meestal op een traject bestaande uit enkele randvoorwaardenvakken, en beslaat dus een beperkt aantal kilometers. Detailadviezen beperken zich tot de hydraulische belastingen van alleen steenbekledingen.

De organisatie bij de hydraulische advisering aan PBZ, en het doorgelopen productschema bij de totstandkoming van een (detail-)advies is beschreven in Bijlage 1.

² Naast het dimensioneren van de steenbekleding, worden de adviezen door de ontwerpers ook gebruikt voor het vaststellen van de teenhoogte, bepaling hoogte stormvloedberm (onderhoudsberm), bepaling toename/afname golfloop tussen nieuw ontwerp en bestaande profiel

3 HISTORIE VAN ADVISERING

3.1 Advisering van 1996 tot 1998

Kort na de start van Projectbureau Zeeweringen is er een aantal werkgroepen gevormd waarin de toetsingen en ontwerpen van de eerste dijkvakken voorbereid werden. In werkgroep Kennis hadden specialisten zitting vanuit Rijkswaterstaat. Deze werkgroep adviseerde het opgerichte Projectbureau op het gebied van toetsregels. Naast deze werkgroep was er o.a. een Toetsgroep en een Randvoorwaardengroep. Voor deze werkgroepen gold net als bij werkgroep Kennis dat hierin specialisten zitting hadden vanuit Rijkswaterstaat (o.a. RIKZ, BWD en DWV). Vanuit de Randvoorwaardengroep werd in korte tijd een methode opgezet om golfberekeningen in de Westerschelde uit te voeren. Kenmerkend voor deze periode was de innovatie. Binnen 2 jaar was de golfmodellering verbeterd van Bretschneider (1D model) via HISWA (eenvoudig 2D-model) tot het golfmodel SWAN. In deze periode werden nog geen detailadviezen verstrekt vanuit het RIKZ, maar werden de ontwerpen bepaald op basis van de door RIKZ aangeleverde randvoorwaardentabellen (waterstanden en golven). Bij eventuele problemen werd ad-hoc geadviseerd vanuit de bestaande werkgroepen.

3.2 Aanpak detailadviezen 1998 tot 2001

Van 1998 tot 2001 zijn er een beperkt aantal detailadviezen geschreven door het RIKZ, welke zijn gerubriceerd als werkgroep memo van werkgroep Kennis (bijv. K-00-08-45). Deze memo's zijn opvraagbaar bij het secretariaat van PBZ. Deze adviezen werden meestal geschreven op aanvraag van werkgroep Kennis van PBZ. Deze werkgroep is verantwoordelijk voor de kennisontwikkeling t.b.v. de toetsing en het ontwerp. In 1999 heeft het RIKZ voorgesteld om voor elk dijktraject dat in ontwerp gaat een detailadvies op te stellen. Dit werden startnotities genoemd. Later is van de benaming startnotities afgestapt, omdat deze verwarrend werkte t.o.v. de totale startnotitie³ op basis waarvan het formele besluit genomen wordt om het ontwerp uit te gaan werken.

Terugkerende thema's uit deze periode zijn:

Detailadviezen eerste dijktrajecten;

Met aandacht voor:

- SWAN-berekeningen Westerschelde deel 2 [ref 9] en [ref 11] en Oosterschelde [ref 17] (zie paragraaf 4.2);
- Uitleg geleverde tabellen met golfcondities;
- Discussie zeespiegelstijging;
- Ontwerppeilen Westerschelde [ref 73] (zie paragraaf 4.9).

3.3 Aanpak detailadviezen RIKZ 2001 tot 2004

In de periode 2001 tot 2004 schreef het RIKZ de detailadviezen zelf en was daar ook verantwoordelijk voor. Deze adviezen werden direct geschreven voor de ontwerpers bij het projectbureau en hadden tot doel om de hydraulische belastingen te controleren en actualiseren. De detailadviezen uit deze periode zijn gerubriceerd als werkgroep memo van werkgroep Kennis. Deze memo's zijn opvraagbaar bij het secretariaat van PBZ.

³ De naam van de totale startnotitie is later weer veranderd in vrijgavedocument, welke opvraagbaar zijn bij het secretariaat van PBZ.

Terugkerende thema's uit deze periode zijn:

- Detailadviezen Westerschelde voor veel dijktrajecten. Hierbij zijn regelmatig begrenzings aangepast⁴ en verouderde golfcondities⁵ vervangen door nieuwe;
- Betrouwbaarheid SWAN en correctie golfcondities [ref 7], [ref 9] en [ref 17] (zie paragraaf 4.4.2);
- Ontwikkeling methodiek (spreadsheetmethode) golfcondities in havens en afgeschermd gebied [ref 44] (zie bijlage 3).

3.4 Aanpak detailadviezen RIKZ 2004 tot januari 2010

Sinds 2004 tot eind 2007 fungeerden Svašek Hydraulics en Royal Haskoning als opdrachtnemer van RIKZ. Na 2007 was de Waterdienst opdrachtgever en Deltares gedelegeerd opdrachtgever voor deze bedrijven bij het tot stand komen van de detailadviezen. In deze periode is de nadruk verschoven van het berekenen van ontwerpwaarden (SWAN-modellering, bepalen correctiewaarden voor stroming) naar praktische toepassing van de ontwerpwaarden (keuze golfcondities voor dijkbekleding en advisering met betrekking tot veranderingen in bodemligging als gevolg van morfologische effecten).

Terugkerende thema's uit deze perioden zijn:

- Om de ontwerpwaarden zo overzichtelijk en toegankelijk mogelijk aan te bieden aan de ontwerper is de vorm van het detailadvies veranderd van een notitie naar een "hand-out". De hand-out bestaat uit twee delen, een samenvattend deel en de bijlagen waarin de randvoorwaarden zijn onderbouwd;
- Er is meer inzicht verkregen en kennis ontwikkeld in de keuze van de maatgevende combinatie van golfhoogten en golfperioden voor diverse faalmechanismen. In de detailadviezen wordt de meest waarschijnlijke belastingcombinatie voor steenbekledingen (zowel steenzetting als steenbestorting), asfalt, afschuiving, (gekantelde) betonblokken en kleidijken bepaald [ref 53], [ref 54], [ref 55], [ref 56] (zie paragraaf 4.5.2);
- Specifiek voor projectbureau Zeeweringen zijn van 2005 tot 2010 verschillende studies uitgevoerd.
 - Transmissie Oosterscheldekering (zie ook paragraaf 4.2, Oosterschelde 2): Bij het bepalen van de golftrandvoorwaarden in de Oosterschelde in 1998 [ref 17] en [ref 18] zijn aannames gedaan voor de invloed van de Oosterscheldekering op de golven⁶. In 1998 is op basis van enkele golfmetingen voor en achter de kering, de mate van transmissie op een eenvoudige wijze vastgesteld. In 2005 is aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering [ref 20]. Uit deze golfmetingen is

⁴ Indien de golfcondities binnen een dijkvak veel varieerde of als een dijkvakgrens niet praktisch lag voor het ontwerp, zijn de dijkvakgrenzen aangepast.

⁵ Nieuwe kennis is in de loop van de tijd verwerkt in de golfcondities (zie paragraaf 3.4 en 3.5), waardoor eerder afgegeven golfcondities zijn vervangen

⁶ Bij waterstanden tot NAP+3m staat de kering open en blokkeert de golven gedeeltelijk. Bij waterstanden van ca. NAP+1m tot NAP+3m worden de golven ook beïnvloed door de bovendorpel van de kering, welke op ca. NAP+1m ligt.

gebleken dat de transmissie door de kering frequentie afhankelijk is, en daarnaast bleek dat transmissie eerder in enkele gevallen onderschat te zijn [ref 20]. Daarom zijn de resultaten uit de studies [ref 17] en [ref 18] herzien en aangevuld in 2005 naar aanleiding van nieuwe inzichten op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering [ref 19]. Daarnaast is de waterstand van NAP+3m aan de modelberekeningen toegevoegd t.o.v. de berekeningen uit 1998 voor de detailroosters binnen het invloedsgebied van de kering. De reden hiervan is dat geconcludeerd is dat golfcondities bij deze waterstand niet nauwkeurig door interpolatie verkregen kunnen worden.

- Vergelijking WindWater2006 met WindWater2004: In de studie uit 2008 [ref 37] zijn de hydraulische ontwerpwaarden op de Oosterschelde bepaald met WindWater2004 [ref 34], vergeleken met de ontwerpwaarden op basis van Windwater2006 [ref 35]. In WindWater2006 zijn de klassieke belastingfuncties (Z1 t/m Z3) vervangen door gedetailleerdere formules voor verschillende faalmechanismen. In de detailadviezen wordt vanaf ca. februari 2009 (tot april 2010⁷) gecontroleerd of er verschillen optreden in bekledingdikte voor asfaltbekledingen, steenbekledingen en stortsteen als Windwater2006 wordt gebruikt in plaats van Windwater2004⁸. In alle gevallen is in deze adviezen geconcludeerd dat de golfcondities volgens WindWater2004 robuust zijn en de golfcondities niet gecorrigeerd hoeven te worden op basis van de resultaten met WindWater2006. Voor asfalt- en steenbekledingen zijn de WindWater2006-berekeningen uitgevoerd met een voor de Oosterschelde representatief standaardprofiel. Voor het standaardprofiel en de specifieke instellingen per bekledingstype wordt verwezen naar [ref 37].
- Toepassen van minimale waarden voor H_s en T_{pm} :
Het komt regelmatig voor dat de berekende golfcondities bij lagere waterstanden of bij extrapolatie naar lagere waterstanden, dusdanig laag zijn deze waarden mogelijk al bij normale normcondities worden bereikt. Indien deze golfcondities zijn bepaald met SWAN is het tevens de vraag of SWAN voor deze situaties betrouwbare uitvoer geeft. Daarnaast zouden andere belastingen, zoals scheepsgolven maatgevend kunnen worden boven windgolven. Daarom is door Deltares vanaf 2008 [ref 66] geadviseerd uit te gaan van ondergrenzen voor H_s van 0,25 m (afgerond op 0,3 m) en voor T_{pm} van 2,5 s. Als deze ondergrenzen worden overschreden worden de betreffende golfparameters (H_s en/of T_{pm}) aangepast en met blauw gearceerd in de tabellen van de adviezen.
- Prognose schor en slik ontwikkelingen Oosterschelde:
In 2008 is onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling van de in de Oosterschelde aanwezige schorren [ref 39]⁹ en [ref 71]. De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat de schorren vanaf de schorranden eroderen, waardoor het schorareaal in oppervlakte afneemt. Op basis van de geconstateerde ontwikkelingen is een voorspelling gedaan voor de ligging van de schorranden in 2060. Het (deels) verdwijnen van schorren kan op den duur leiden tot instabiliteit van de bekleding op de achterliggende dijken indien deze

⁷ In april 2010 is over gegaan op gebruik van WindWater2010 [ref 36]

⁸ Bij het bepalen van de maatgevende golfcondities is tot april 2010 gebruik gemaakt van WindWater2004 [ref 34], en is niet overgestapt op WindWater2006 [ref 35]

⁹ In 2008 is de studie van de prognose schor- en slikontwikkeling in de Oosterschelde uit 2006 [ref 80] herzien [ref 39], omdat in de eerder gebruikte metingen fouten bleken te zitten

niet tot voldoende laag niveau is doorgezet. Daarnaast kunnen de golfbelastingen op de dijk toenemen. Om de stabiliteit van nieuwe dijkbekledingen voor de lange termijn te kunnen garanderen, is het van belang om in het ontwerp van deze bekledingen rekening te houden met de verwachte toekomstige ontwikkelingen van voorliggende schorren. In [ref 38] zijn de randvoorwaardenvakken opgesomd waarvoor geldt dat het schor volgens de prognose volledig verdwijnt. Voor deze randvoorwaardenvakken geldt dat in de detailadviezen wordt aanbevolen om bij het ontwerp maatregelen te treffen om de stabiliteit van de bekleding voor de lange termijn (tot 2060) te kunnen garanderen. Maatregelen kunnen bestaan uit het doorzetten van de teen in het volgens de prognose verdwijnend schor of het treffen van beschermende maatregelen om schorerosie tot aan de dijk te voorkomen.

Naast de ontwikkeling van de vooroever gedurende de levensduur van een ontwerp is het echter ook relevant om te weten hoeveel erosie er tijdens een storm vlak vóór de dijkteen kan plaatsvinden. Tijdens storm kan er door de combinatie van golfbreking op het (onbeschermd) voorland en neerloop van golven langs het benedentalud van de dijk ontgronding voor de teen van de dijk plaatsvinden. Ontgrondingskuilen bij harde zeeeringen kunnen een bedreiging vormen voor de stabiliteit van het buitenbeloop van de dijk. Om de stabiliteit van het buitenbeloop van de dijken te kunnen garanderen is het van belang dat er in het ontwerp van nieuwe steenbekledingen in voldoende mate rekening wordt gehouden met mogelijke ontgrondingen voor de constructie.

Om adequate maatregelen te kunnen treffen is hiertoe voor alle randvoorwaardenvakken langs de Oosterschelde een schatting gemaakt voor de maximale ontgrondingsdiepte op de aanwezige voorlanden [ref 65]. In de gevallen dat sterke erosie wordt verwacht van de vooroever op basis van prognose tot 2060 wordt aanbevolen de teen dieper aan te leggen of aanvullende beschermende maatregelen te nemen (bijvoorbeeld extra brede kreukelberm).

- Impact bodemprognose op golfbelasting Oosterschelde:

De golfrandvoorwaarden op de Oosterschelde in de detailadviezen zijn gebaseerd op SWAN-berekeningen uit 1998 [ref 17], aangevuld met berekeningen uit 2005 [ref 19]. Bij berekening van de golfcondities is gebruik gemaakt van een bodemschematisatie die destijds representatief werd geacht voor een planperiode van 50 jaar [ref 17], welke bodem de ontwerpbodem wordt genoemd. Recent is er op basis van de gemeten bodemligging van 1990, 2001 en 2007 een toekomstprognose gemaakt voor de ontwikkeling van de bodemligging van de Oosterschelde tot het jaar 2112 [ref 40]. De bodemschematisaties (voor het jaar 2062) uit deze studie worden de prognosebodem genoemd. De impact op de golfcondities door het gebruik van deze prognosebodem in plaats van de ontwerpbodem is bestudeerd in [ref 33] en [ref 40]. In de detailadviezen vanaf augustus 2010 wordt geadviseerd hoe in het ontwerp moet worden omgegaan met de uitkomsten van de studie. Omdat de betrouwbaarheid van de prognosebodem niet veel groter is dan de ontwerpbodem, worden de randvoorwaarden uit consistentieoverwegingen met het verleden nog steeds op basis van de ontwerpbodem geadviseerd. Daarom wordt alleen een indicatie van de impact op de ontwerpwaarden gegeven. De stappen die worden doorlopen bij de advisering en de benodigde gegevens staan beschreven in paragraaf 2.6 van [ref 30] en in [ref 78].

- Correctiefactoren Ooster- en Westerschelde (zie ook paragraaf 4.4.2): Sinds november 1997 is in opdracht van het PBZ een aantal meetlocaties in de Westerschelde ingericht om op den duur de kwaliteit van SWAN voor de Zeeuwse estuaria en daarmee de betrouwbaarheid van de met dit model berekende ontwerpwaarden inzichtelijk te kunnen maken. Naar aanleiding van uitgevoerde metingen worden de golfcondities op zowel de Oosterschelde als de Westerschelde vanaf mei 2006 gecorrigeerd, met zogenaamde correctiefactoren WL 2005 [ref 24]. In de Oosterschelde en Westerschelde zijn deze correctiefactoren verwerkt in de databestanden, welke ingelezen kunnen worden in WindWater (zie paragraaf 4.7).

3.5 Aanpak detailadviezen vanaf januari 2010

Vanaf januari 2010 adviseren Svašek en Royal Haskoning het Projectbureau rechtstreeks. In het geval dat Projectbureau een extra kwaliteitscontrole wenst wordt Deltares ingeschakeld. Deze werkwijze maakt het mogelijk om sneller vragen van Projectbureau te beantwoorden.

Terugkerende thema's uit deze perioden zijn:

- Vanaf april 2010 worden in de (update) detailadviezen de golfcondities bepaald op basis van nieuwe belastingfuncties [ref 41], zie ook paragraaf 4.6. De klassieke belastingfuncties sluiten namelijk niet meer goed op de nieuwe formules ontwikkeld voor het toetsen en ontwerpen van steenzettingen, welke zijn geïmplementeerd in de nieuwere versies van Steentoets [ref 42] (versie 4.0 en hoger). Daarnaast is voor elk bekledingstype en/of faalmechanisme een afzonderlijke randvoorwaardentabel beschikbaar.
- Omdat de golfcondities vanaf april 2010 worden afgerond op 2 decimalen, wordt er vanaf die periode in de adviezen een ondergrens voor H_s van 0,25 m gehanteerd (in tegenstelling tot april 2010 toen 0,3 m is toegepast als ondergrens).
- Specifiek voor Projectbureau Zeeweringen zijn in 2010 verschillende studies uitgevoerd.
 - Revisie correctiewaarden (zie ook paragraaf 4.4.2): In 2010 zijn door Svašek aangescherpte correctiewaarden bepaald [ref 27], waarbij de belangrijkste redenen van het uitvoeren van deze studie waren, de beschikbaarheid van meer meetdata van stormen en omdat er onvolkomenheden in voorgaande studies [ref 24] en [ref 25] bleken te zitten. Vanaf augustus 2010 worden deze aangescherpte correctiewaarden toegepast bij advisering aan PBZ, waarbij in de periode vanaf 2006 de correctiewaarden uit [ref 24] werden gebruikt.
 - Windwater2010: Voor de visualisatie en berekening van de gecorrigeerde golfcondities wordt vanaf juli 2010 WindWater2010, versie 5.0 [ref 36] gebruikt. Deze nieuwe versie van WindWater is ontwikkeld, omdat in de vorige versies (WindWater2004 [ref 34] en WindWater2006 [ref 35]) geen nieuwe belastingfuncties [ref 41] zijn geprogrammeerd. In de periode voor juli 2010 is gebruik gemaakt van WindWater2004 [ref 34] (en ter verificatie WindWater2006 [ref 35]), waarin alleen de klassieke belastingfuncties geprogrammeerd zijn.

4 ACHTERGROND HYDRAULISCHE BELASTING

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de hydraulische belasting (waterstand en golven) wordt vastgesteld. De golfcondities zijn bepaald met het golfgroeimodel SWAN¹⁰ [ref 16]. Op basis van de berekende golfcondities voor verschillende windrichtingen zijn de maatgevende golfcondities bepaald voor het ontwerp (met Windwater¹¹) voor verschillende waterstanden.

4.2 Historie berekening golfcondities

Toen in 1996 de vraag gesteld werd om hydraulische golfbelastingen te leveren voor het ontwerp van enkele dijken die urgent moesten worden verbeterd, was er nog geen gevalideerd golfmodel SWAN beschikbaar. Daarnaast was de benodigde statistiek nog niet gereed. Er is dus stapsgewijs begonnen met het leveren van ontwerpwaarden, terwijl parallel hieraan een methode opgezet werd om voor de gehele Westerschelde en Oosterschelde ontwerpwaarden te berekenen. Hieronder worden chronologisch de verschillende rekenexercities toegelicht, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de Wester- en Oosterschelde.

Westerschelde

Westerschelde 0

In 1996 zijn voor de eerste dijktrajecten langs de Westerschelde (4 dijktrajecten overeenkomende met 15 randvoorwaardenvakken o.a. Borsele), met het niet-spectrale HISWA-model [ref 79] (voorloper van SWAN) eenvoudige golfberekeningen uitgevoerd [ref 5]. Deze berekeningen zijn daarna (november 1997) vervangen door de getallen zoals afgeleid met de methode zoals beschreven onder *Westerschelde 1*. De getallen zijn derhalve nooit toegepast.

Westerschelde 1

In 1996 kwam SWAN beschikbaar voor toepassing. Ten behoeve van het ontwerp zijn voor nog enkele tientallen randvoorwaardenvakken¹² ontwerpcondities berekend [ref 6], welke zijn beschreven in [ref 7]. Gekozen was gebruik te maken van SWAN (versie 30.51) i.p.v. het HISWA-model, omdat het HISWA-model in enkele gevallen significant te lage golfhoogte bleek te geven en vanwege de relatief onnauwkeurige methode voor bepaling van de piekperiode in het HISWA-model [ref 8]. Bij de SWAN-berekeningen is gebruik gemaakt van een relatief grofmazig bodemrooster, waarbij de vooroever niet altijd geheel accuraat was. De bodem is aangepast, omdat in de planperiode van 50 jaar

¹⁰ In de meeste gevallen versie 30.62, met uitzondering van de herberekening van westelijke winden op de Oosterschelde [ref 19], waarbij versie 30.75 is gebruikt en het eerste deel van de berekeningen op de Westerschelde [ref 6], waarbij versie 30.51 is gebruikt

¹¹ Vanaf ca. februari 2005 worden de maatgevende golfcondities bepaald met WindWater2004 [ref 34] en vanaf juli 2010 is overgestapt op WindWater2010 [ref 36]

¹² 65 nieuwe randvoorwaardenvakken t.o.v. Westerschelde 0 en bijstelling golfcondities van 15 randvoorwaardenvakken, Westerschelde 0

een veranderende hoogteligging van platen en slikken is te verwachten. De bodem is aangepast door in het westelijke deel (tot Ossenissee) de platen en slikken te verlagen met 0,5 m, in het oostelijke deel de platen te verlagen met 1,0 m en de slikken met 0,5 m, de hoogteligging van het land van Saeftinge is ongewijzigd [ref 6] en [ref 7]. Als aansturing voor het golfmodel SWAN is gebruik gemaakt van uniforme wind¹³. In totaal zijn er 13 windrichtingen¹⁴ doorgerekend voor de grove detailroosters en zijn er 1 tot 4 windrichtingen doorgerekend voor detailroosters, afhankelijk van welke windrichting als mogelijk maatgevend werd beschouwd [zie ref 6].

Als golfparameters op de Noordzee-rand van het model, is voor de windrichtingen 240 t/m 360 graden de omnidirectionele statistiek van Europlatform opgelegd ($H_{m0}=8,16$ m, $T_p=13$ sec. [ref 1] en [ref 2]). Incidenteel is de golfhoogte met +0,20 m verhoogd op locaties waarvoor bekend was dat stroming een grote rol speelt (geul dichtbij de dijk) [ref 7]. Daarnaast zijn alle golfperioden verhoogd met één seconde, vanwege de bekende onderschatting door SWAN [ref 8]. Meer achtergrondinformatie is beschikbaar in [ref 6] en [ref 7]. In de huidige tabel met ontwerpwaarden zijn deze dijkvakken herkenbaar aan de golfperiodemaat T_p , welke in het vervolg [ref 9] is vervangen door T_{pm} .

Westerschelde 2

Aanvullend op Westerschelde 1 zijn voor de resterende randvoorwaardenvakken¹⁵ in 1997 en 1998 modelberekeningen [ref 9] uitgevoerd met SWAN versie 30.62 [ref 16]. De achtergrond en uitkomsten van deze berekeningen worden beschreven in [ref 10]. Hierbij hebben de leringen uit de eerdere SWANstudie geleid tot aanpassingen in de modelopzet. De bodem is aanzienlijk verbeterd en aangevuld met de zeer ondiepe delen voor de dijk. Dit maakte het mogelijk om voor alle dijken uitvoerpunten te kiezen op 50 meter uit de teen van de dijk (één uitvoerpunt op een onderlinge afstand van 200 meter dijklangs). De modelberekeningen zijn (genest= plaatselijk verfijnd rooster) uitgevoerd met een resolutie van 20 meter voor 14 windrichtingen¹⁶ (zie tabel 4.3) en drie waterstanden (NAP+2m/+4m/+6m) bij de 1/4000^{ste} windsnelheid (zie tabel 4.3)¹⁷. Omdat de betreffende randvoorwaardenvakken vooral in de monding liggen, waar dubbeltopige spectra voorkomen (doordat zowel deining als locale golfgroei hier kan voorkomen), is de piekperiode vervangen door de stabielere gemiddelde piekperiode T_{pm} [ref 13].

Voor de bodemschematisatie is gebruik gemaakt van een verbeterde versie (zie [ref 9] en [ref 10]) van de bodemschematisatie die is gebruikt voor de golfberekeningen Westerschelde 1 [ref 6]. Daarbij zijn voor de locaties waar eerder fictieve waarden voor zijn aangenomen, deze aangevuld met raaimetingen en andere gegevens. In de

¹³ 34 m/s voor het buitengebied van de Westerschelde en 33 m/s voor het binnengebied voor de windrichtingen 270 t/m 360 graden [ref 3 en 4]. De grens tussen het binnen- en buitengebied ligt bij de lijn Vlissingen – Breskens [ref 4]. Voor oostelijke windrichtingen (70 t/m 110 graden) is de windsnelheid 20 m/s opgelegd en voor de tussengelegen windrichtingen (180 t/m 240 graden) 24 m/s tot 31 m/s.

¹⁴ De windrichtingen 70, 90, 100, 110, 180, 210, 240, 270, 280, 290, 315, 330 en 360 graden

¹⁵ Een 105-tal randvoorwaardenvakken, welke zijn verspreid langs de noord- en zuidoever van de Westerschelde.

¹⁶ In tegenstelling tot Westerschelde 1 zijn de berekeningen voor zowel het grove als detailrooster uitgevoerd voor alle beschouwde windrichtingen.

¹⁷ Deze 1/4000ste windsnelheden worden vanaf 1999 windklasse 2 genoemd, omdat toen voor andere windsnelheidsvelden (1 en 3 t/m 6) ook SWAN-berekeningen zijn uitgevoerd [ref 11].

monding van de Westerschelde (zuidkust van Walcheren en westkust van Zeeuws-Vlaanderen) tot aan de lijn Vlissingen-Breskens is een verlaging toegepast afhankelijk van de specifieke situatie per gebied [volgens ref 12].

Als aansturing voor het SWAN model zijn identiek aan Westerschelde 1, de omnidirectionele golfcondities van Europlatform voor alle richtingen opgelegd. Voor de windsnelheden is wel de richtingsafhankelijke statistiek gebruikt [memo DWW 8-9-1997¹⁸]. De invloed van stroming op de golfcondities is verdisconteerd d.m.v. een stromingscorrectie op alle beschouwde golfparameters [ref 9 en 10]. Deze is locatieafhankelijk, en is gebaseerd op een doorgerekende westelijke referentiestorm (zie paragraaf 4.4.1). Ter compensatie van de modelonderschatting van SWAN [ref 8] is de golfperiode T_{pm} met één seconde gecorrigeerd, de golfhoogte H_s is niet gecorrigeerd. Vanaf 2003 zijn andere modelcorrecties toegepast naar aanleiding van studies [ref 21], [ref 22] en [ref 23], waarbij de golfparameters van metingen met de waarden uit berekeningen zijn vergeleken (zie paragraaf 4.4.2).

Westerschelde 6 windklassen

In 1999 zijn de golfcondities op de Westerschelde opnieuw uitgerekend, maar nu voor 6 verschillende windklassen [ref 11]. Deze berekeningen zijn uitgevoerd op gelijke wijze als die van Westerschelde 2 [ref 9] en [ref 10], echter zijn in deze studie 179 randvoorwaardenvakken doorgerekend. Daarnaast is gebruik gemaakt van richtingsafhankelijke golfstatistiek op diepwater [ref 1 en 2]. Deze exercitie was bedoeld als input voor de Hydraulische Randvoorwaarden 2001. Uiteindelijk zijn deze berekeningen niet opgenomen in de HR-2001 [ref 14], maar zijn wel als basis gebruikt voor de HR-2006 [ref 15]¹⁹. De berekende golfcondities van windklasse 2 worden vanaf 1999 gebruikt voor advisering aan projectbureau Zeeweringen. Deze berekende golfcondities voor windklasse 2 zijn in 2005 omgezet naar de numtabel 'ws160605_w2d.num', welke ingelezen kan worden met WindWater. In deze tabel zijn geen correcties voor stroming en/of betrouwbaarheid SWAN verwerkt.²⁰ Deze correcties kunnen verwerkt met Windwater.

Oosterschelde

Oosterschelde 1

In 1998 zijn voor 171 randvoorwaardenvakken langs de Oosterschelde modelberekeningen [ref 17]. De achtergrond en uitkomsten van deze berekeningen worden beschreven in [ref 18]. Bij de advisering aan PBZ worden alleen de resultaten van windklasse 2 gebruikt. De windsnelheden (zie tabel 4.3) bij deze windklasse behoren voor elke beschouwde windrichting bij een $1/4000^{\text{ste}}$ overschrijdingsfrequentie. Bij de overige beschouwde windklassen behoort geen vaste overschrijdingsfrequentie. Voor deze modelberekeningen is als basis de methodiek van Westerschelde 2 gehanteerd. Deze is echter aangepast op een aantal punten. Allereerst is er de Oosterscheldekering die weliswaar gesloten is bij hoge waterstanden, maar open is bij lage waterstanden en dus golven doorlaat. In de berekeningen voor de Oosterschelde is de invloed van de stormvloedkering meegenomen in het model, waarbij een golfhoogte

¹⁸ Exacte referentie van deze memo is onbekend.

¹⁹ De resultaten van alle 6 de windklassen

²⁰ In de tabel 'ws060310_w2d.num' zijn in 2005 de berekende golfcondities wel gecorrigeerd met de correctiewaarden uit de studie van WL [ref 24], welke vanaf ca. mei 2006 worden toegepast.

reductie beschouwd is als functie van de waterstand²¹ [ref 17] en [ref 18]. Aangenomen is dat de spectrale vorm niet veranderd.

Er zijn 14 windrichtingen doorgerekend voor 6 verschillende windsnelheidsklassen (zie [ref 17]), bij drie waterstanden (NAP+0m, +2m en +4m). Bij de windsnelheden is onderscheid gemaakt tussen een binnen en buitengebied (voor windsnelheden zie tabel 4.3). De grens van deze twee gebieden ligt op een lijn ter plaatse van de Oosterscheldekering.

Voor de modelberekeningen is de bodem uit ca. 1998 aangepast om rekening te houden met mogelijke bodemdalingen in de planperiode van 50 jaar. Volgens advies van de Werkgroep Golfrandvoorwaarden Zeeland zijn de volgende aanpassingen doorgevoerd:

- Platen: Alle platen zijn 1,0 m verlaagd
- Schorren en slikken: De verlaging is gespecificeerd voor 9 gebieden
- Erosie schorranden: Achteruitgang is gespecificeerd voor 3 gebieden²²
- Voorlanden: Alle voorlanden zijn 0,25 m extra verlaagd.

Voor de precieze verlagingen wordt verwezen naar [ref 17] en [ref 18].

Qua aansturing is de wind identiek gekozen aan Westerschelde 2. Alleen voor de golfcondities op diepwater is gekozen om gebruik te maken van richtingsafhankelijke golfstatistiek op diepwater [ref 1] en [ref 2]²³. Hierbij zijn golfhoogte en golfperiode afhankelijk gesteld van de windsnelheid (zie tabel 3.3 in [ref 18]). Voor golfberekeningen bij een waterstand van NAP+4m (waarbij de Oosterscheldekering dicht is) en bij oostelijke windrichtingen (60 t/m 150 graden) zijn er geen randvoorwaarden op de Noordzee benodigd. In die situaties zijn er alleen lokaal opgewekte golven op de Oosterschelde. De methodiek voor de stromingscorrectie en de correctie t.g.v. de onderschatting door SWAN zijn voor de Oosterschelde identiek gekozen aan de Westerschelde 2.

Oosterschelde 2

De resultaten uit de studies [ref 17] en [ref 18] zijn herzien en aangevuld in 2005 naar aanleiding van nieuwe inzichten op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering [ref 19]. De resultaten van deze studie zijn generiek verwerkt in de bronbestanden voor WindWater door herberekening van alle relevante situaties (numtabellen 'OS-PBZ_280705_wst023.num' en 'OS-PBZ_280705_wst234.num')²⁴. Omdat WindWater maximaal de golfcondities van 3 verschillende waterstanden kan inlezen zijn 2 afzonderlijke tabellen gegeneerd. In de WindWater-tabellen van na juni 2005 zijn de nieuwe inzichten op transmissiegebied structureel meegenomen en gebruikt bij advisering in de detailadviezen aan PBZ. Vanaf begin 2005 tot juni 2005 zijn

²¹ Reductiefactor H_{m0} is 0,6 bij de waterstand NAP+0m en 0,3 bij de waterstand NAP+2m. De golfperiode is dus niet gereduceerd.

²² Slikken van Kats, Katse Plaat en Slikken van Zijpe.

²³ Deze richtingsafhankelijke golfstatistiek op diepwater was wel eerder beschikbaar, maar nog niet toegepast om onbekende redenen.

²⁴ Deze tabellen zijn niet gecorrigeerd voor stroming en/of betrouwbaarheid SWAN. In 2006 zijn er tabellen gegeneerd (welke vanaf mei 2006 worden toegepast), waarbij de berekende waarden wel zijn gecorrigeerd, namelijk met de correctiewaarden uit de studie van WL [ref 24]. Dit zijn de tabellen 'OS-PBZ_060523_wst023.num' en 'OS-PBZ_060523_wst234.num'.

de nieuwe inzichten t.a.v. de golftransmissie al ad hoc toegepast d.m.v. correctiefactoren.

Op basis van enkele golfmetingen voor en achter de kering is de mate van transmissie op een eenvoudige wijze vastgesteld in 1998 [ref 17] en [ref 18]. Een punt van zorg hierbij is dat de twee stations die hierbij gebruikt zijn (OS4 en WRRB) niet tegenover elkaar liggen aan weerszijden van de kering. Daarnaast is de locatie van het binnenstation WRRB niet representatief voor het gehele binnengebied van de Oosterschelde. Om deze redenen is in 2005 aanvullend onderzoek op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering [ref 20] uitgevoerd, en zijn nieuwe golfcondities afgeleid [ref 19]. Daarbij is gebruikt gemaakt van meerdere meetstations en aanvullende SWAN-berekeningen.

Uit golfmetingen in 2005 is gebleken dat de transmissie door de kering frequentie afhankelijk is, waarbij laag-frequente golven beter doordringen dan hoog-frequente [ref 20]. De nieuw afgeleide transmissie coëfficiënten zijn daarom frequentie afhankelijk. In de studie van Alkyon [ref 20] is vastgesteld dat de golfcondities alleen in een beperkt gedeelte van de Oosterschelde beïnvloed wordt door de transmissie door de Oosterscheldekering. Het invloedsgebied betreft de detailroosters D01 t/m D07 en D34 t/m D40, gelegen ten westen van lijn Kats-Zierikzee (zie [ref 19]). Om deze reden zijn de SWAN berekeningen in de studie uit 2005 [ref 19] alleen uitgevoerd voor de roosters binnen het invloedsgebied.

De waterstand van NAP+3m is aan de modelberekeningen toegevoegd t.o.v. de berekeningen uit 1998 [ref 17] voor de detailroosters binnen het invloedsgebied van de kering. De reden hiervan is dat geconcludeerd is dat golfcondities bij deze waterstand niet nauwkeurig door interpolatie²⁵ verkregen kunnen worden. Dit heeft te maken met het feit dat achter de kering het verloop van de golfcondities als functie van de waterstand een discontinuïteit vertoont t.g.v. de kering bij een waterstand van NAP+3m.

Sluitingsregime kering

Wanneer wordt verwacht dat het hoogwater op de Noordzee hoger zal zijn dan NAP + 3,0 m, dan wordt de Oosterscheldekering gesloten. Hierbij wordt gestreefd naar een waterpeil van NAP + 1,0 m op de Oosterschelde. Dit waterpeil wordt circa 12 uur gehandhaafd, aangezien de kering pas bij het eerstvolgende laagwater weer kan worden geopend. Indien wordt voorspeld dat ook het volgende hoogwater hoger zal zijn dan NAP + 3,0 m, is het streven het waterpeil op de Oosterschelde voor de tweede sluiting van de kering op NAP + 2,0 m te brengen. Dit alles om de waterstands- en golfbelastingen op de dijken over het talud te spreiden. Bij de berekening van de hydraulische belastingen wordt uitgegaan van een noodsluiting en worden de golfbelastingen bij een waterstand van NAP+3mberekend met een open kering.

De berekeningen in 2005 zijn alleen uitgevoerd voor westelijke windrichtingen (210 t/m 330 graden) voor situaties met een open kering (waterstanden NAP+0m, +2m en +3m). Voor oostelijke windrichtingen heeft de kering geen invloed. Voor gebieden buiten het invloedsgebied wordt verondersteld dat de golfbelastingen voor een waterstand van

²⁵ De golfparameters bij een waterstand van NAP+3m zijn tot 2005 voor alle situaties bepaald door interpolatie op parameterniveau over de waterstanden NAP+2m en NAP+4m.

NAP+3m voldoende nauwkeurig kunnen worden verkregen door lineaire interpolatie tussen de golfparameters behorende bij de waterstanden van NAP+2m en NAP+4m.

Voor alle windrichtingen voor alle dijkvakken binnen de detailroosters D08 t/m D33 zijn de golfparameters bij een waterstand van NAP+3m dus bepaald door lineaire interpolatie tussen de waarden behorende bij de waterstanden van NAP+2m en NAP+4m.

De golfparameters bij een waterstand van NAP+3m bij de windrichtingen 360 t/m 180 graden binnen de detailroosters D01 t/m D07 en D34 t/m D40 zijn eveneens verkregen door lineaire interpolatie.

In de studie van 2005 [ref 19] is gebruik gemaakt van een andere SWAN-versie (versie 30.75) t.o.v. de eerder uitgevoerde berekeningen [ref 17]. Deze SWAN-versie is qua fysica en numerieke zaken vrijwel gelijk aan versie 30.62. Het belangrijkste verschil is dat versie 30.75 geschikt is voor spectrale invoer op de modelrand.

In tabel 4.1 is kort weergegeven welke SWAN berekeningen in de twee studies van de Oosterschelde zijn uitgevoerd:

	Berekeningen 1997/1998 [Ref 17]	Berekeningen 2005 [Ref 19]
Waterstanden [NAP +m]	0, 2, (3), 4 (3 is verkregen door lineaire interpolatie op parameterniveau)	0, 2, 3 (bij 4 is de kering gesloten)
Windrichtingen [°N]	30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 285, 300, 315, 330, 360	210, 240, 270, 285, 300, 315, 330
Grove rekenroosters	N1, B1, K1, K2, K3, S1, S2, S3, S4	N2, B2, K4, S1, S4
Detailroosters	gehele gebied, D01 t/m D40	Invloedsgebied, D01 t/m D07 en D34 t/m D40
SWAN versie	30.62	30.75

Tabel 4.1 Uitgevoerde berekeningen Oosterschelde

4.3 Methode berekening golfcondities

4.3.1 Golfmodellering met SWAN

Het ondiep water golfgroeimodel SWAN [ref 70] is een numeriek, fysisch rekenmodel en staat voor Simulating WAVes Nearshore. Over het algemeen is gebruik gemaakt van SWAN-versie 30.62 [ref 16]. Uitzondering hierop zijn de berekeningen in de Oosterschelde van 2005 [ref 19], waarbij gebruik is gemaakt van SWAN-versie 30.75. Beide versies zijn qua fysica en numeriek zaken vrijwel gelijk aan elkaar, echter is bij versie 30.75 mogelijk om spectrale invoer op de rand van het model in te lezen, welke benodigd was voor de uit te voeren berekeningen. Daarnaast zijn de berekeningen uit 1997 [ref 6] in de Westerschelde uitgevoerd met SWAN versie 30.51, waarna bij de vervolgstudies [ref 9] en [ref 11] een verbeterde versie is gebruikt.

Het golfmodel is ontwikkeld is door de Technische Universiteit Delft en modelleert op een tweedimensionale rooster het golfveld. SWAN is volledig spectraal in richting en frequentie en is hierdoor geschikt om realistische schattingen te maken van

golfparameters voor kustgebieden, meren en estuaria bij gegeven wind-, bodem- en stromingcondities. De belangrijkste uitvoer zijn de significante golfhoogte H_{m0} , de golfperiode T_p en de gemiddelde golfrichting T_h . De geadviseerde golfparameters aan PBZ betreffen echter T_{pm} en H_s . Er wordt vanuit gegaan de H_{m0} gelijk is aan H_s . De golfperiodemaat T_{pm} wordt bepaald door een nabewerking vanuit het berekende golfspectrum (zie bijlage C1 van [ref 33] en [ref 28]). Deze periodemaat is geïntroduceerd om een robuuste schatter te verkrijgen van de piekperiode [ref 13]. Nadelen van T_p zijn dat de fysische betekenis sterk afhankelijk is van de grote van de discretisatiestap van het spectrum, eventuele dubbeltoppige spectra en de onnauwkeurigheid bij brede pieken.

In het SWAN model planten de golven zich in de geografische ruimte (x, y) voort; hierbij wordt rekening gehouden met bodem- en stromingsvariaties (refractie en shoaling) en stroming (blocking). Daarnaast zijn effecten van golfgroei (wind) en dissipatie (bodempwrijving en breken van golven, zowel whitecapping als diepte-geïnduceerd breken) in het model opgenomen. In SWAN kunnen verschillende variaties van fysische formuleringen voor de processen van groei en dissipatie van golven gekozen worden. Voor de Westerschelde en Oosterschelde zijn duizenden berekeningen met SWAN gemaakt voor verschillende waterstanden, windrichtingen en windsnelheden [ref 6], [ref 9], [ref 11], [ref 17], [ref 19], waarbij een aantal berekeningen meermalen zijn uitgevoerd (zie paragraaf 4.2). In tabel 4.2 is aangegeven voor welke condities er berekeningen gemaakt zijn.

variabele	aantal	
Windsnelheden	7 klassen. Windklasse 2 = 1/4000 ^{ste} windsnelheid	7
Windrichtingen	14: nl. per 30° sector, met als extra 285° en 315°.	14
Waterstanden	3 waterstanden. Westerschelde: NAP +2m, +4m en +6m 4 waterstanden. Oosterschelde: NAP +0m, +2m, +3m en +4m	3 of 4
Rekenroosters	50 Westerschelde en 54 Oosterschelde	104

Tabel 4.2 Uitgevoerde berekeningen

Voor de instellingen die bij het bepalen van de ontwerpwaarden zijn gebruikt, wordt verwezen naar [ref 17] en [ref 19] voor de Oosterschelde, en [ref 23] voor de Westerschelde en de onderliggende studies. Deze instellingen zijn bepaald uit gevoeligheidsonderzoek [ref 8].

Het numeriek golfmodel SWAN [ref 70] vertaalt de op het diepe water bekende golfparameters (paragraaf 4.3.2) naar ondiep water golfcondities voor elke dijk (paragraaf 4.5.5). Daarbij zijn op het ondiepe water uitvoerpunten gelegd voor elke 250 meter langs de dijk op ca. 50 meter uit teen van de dijk (zie voorbeeld in figuur 4.1). Op de uitvoerpunten worden de golfcondities berekend voor verschillende combinaties van waterstand, windrichting en windsnelheid. De basis hiervan zijn de berekeningen uit 1997 en 1998 (Westerschelde [ref 6] en [ref 9] en Oosterschelde [ref 17] en [ref 19]). De basisbestanden zijn verwerkt in de database RAND2001, welke in 2006 is vervangen door de database KustDB 2006-Steen. Daarnaast zijn deze in 2006 verwerkt in zogenaamde numtabellen.

In de basis is in de loop van de jaren weinig veranderd, in tegenstelling tot de nabewerking. Om van de berekende golfcondities per uitvoerpunt naar de maatgevende

golfcondities per dijkvak voor een specifieke bekleding te komen worden een aantal stappen uitgevoerd.

1. Toepassen van de correcties voor stroming (zie paragraaf 4.4.1) en
2. Toepassen van de correcties voor modelafwijking²⁶ (zie paragraaf 4.4.2);
3. Bepalen van het maatgevende golfcondities per uitvoerpunt en dijkvak(segment) (zie paragraaf 4.5 voor de methode tot april 2010 en paragraaf 4.7 voor de methode vanaf april 2010);
4. Naar boven afronden van waarden voor golfparameters (zie paragraaf 4.5 en 4.7);

De specifieke aanpak van vooral de stappen 2 t/m 4 is in de loop van het project veranderd door nieuwe kennis. Voor achtergrond wordt verwezen naar bijgenoemde paragrafen.



Figuur 4.1 Ligging uitvoerpunten en dijkvakken Vlissingen

4.3.2 Golfstatistiek op diepwater

Bij westelijke windrichtingen kan er golfenergie van de Noordzee de Oosterschelde (bij een open Oosterscheldekering) en de Westerschelde binnendringen. Het golfmodel begint de berekening op diepwater. Hiervoor zijn op de rand van het model de golfrandvoorwaarden benodigd, afgeleid uit diepwaterstatistiek.

Deze diepwaterstatistiek is afgeleid op basis van ca. 25 tot 30 jaar aan veldmetingen op diepwater ter plaatse van het Europlatform [ref 1] en [ref 2]. Hierbij is gebruik gemaakt

²⁶ In een aantal gevallen (zie paragraaf 4.4.2) zijn deze correcties al verwerkt in de bronbestanden

van extrapolatie via een Weibull-verdeling, waarbij onderscheid gemaakt is tussen diverse richtingssectoren. In de berekeningen van de Westerschelde uit 1997 en 1998 [ref 6] en [ref 9] is gebruik gemaakt van omnidirectionele golfcondities. In de berekeningen van de Oosterschelde [ref 17] en [ref 19] en de in 1999 uitgevoerde berekeningen op de Westerschelde [ref 11] is gebruik gemaakt van richtingafhankelijke golfcondities op diepwater. Het is niet bekend waarom in de studies op de Westerschelde uit 1997 en 1998 geen gebruik is gemaakt van richtingafhankelijke golfcondities op diepwater.

In SWAN zijn deze diepwater randvoorwaarden ingevoerd op de beginrand van het model²⁷. Voor de golfberekeningen bij een hoge waterstand op de Oosterschelde (Oosterscheldekering dicht) en bij oostelijke windrichtingen zijn er geen (model)randvoorwaarden op de Noordzee nodig. In deze situaties zijn er alleen lokaal gegenereerde golven op de Ooster- en Westerschelde.

4.3.3 Windsnelheden

Volgens [ref 3 en 4] gelden voor de omnidirectionele windsnelheden 34 m/s voor het buitengebied en 33 m/s voor het binnengebied. De ruimtelijke verdeling van windsnelheden gecombineerd met richtingsafhankelijke statistiek te Schiphol is doorvertaald naar richtingsafhankelijke statistiek bij Vlissingen [memo DWW 8-9-1997²⁸]. De toepaste windsnelheden per windrichting in de SWAN berekeningen voor zowel de Ooster- als de Westerschelde zijn weergegeven in tabel 4.3²⁹. Daarbij is er onderscheid gemaakt tussen een binnen- en een buitengebied. Daarbij ligt de grens tussen deze gebieden in de Westerschelde op de lijn Vlissingen-Breskens [ref 9] en op de Oosterschelde ter plaatse van de Oosterscheldekering [ref 18].

code	windrichting [°N]	windsnelheid [m/s] buitengebied	windsnelheid [m/s] binnengebied
1	30°	20	19
2	60°	21	20
3	90°	20	19
4	120°	19	17
5	150°	20	19
6	180°	24	23
7	210°	29	28
8	240°	32	31
9	270°	34	33
10	285°	33	32
11	300°	32	31
12	315°	29	28
13	330°	26	25
14	360°	22	21

Tabel 4.3 Opgelegde windsnelheden in SWAN berekeningen

²⁷ De diepwater randvoorwaarden van het Europlatform zijn rechtstreeks op de modelrand gezet.

²⁸ Exacte referentie van deze memo is onbekend

²⁹ Bij de SWAN berekeningen op de Westerschelde uit 1997 [ref 6] is gebruik gemaakt van andere windsnelheden (zie paragraaf 4.2)

4.4 Correctiewaarden

Een model is een instrument om te voorspellen wat met meten niet mogelijk of niet efficiënt is. Modellen worden ontwikkeld en gekalibreerd op basis van gemeten processen. De in het kader van PBZ te voorspellen processen liggen echter buiten het meetbereik. Daarom is het nodig om de betrouwbaarheid van een model per toepassing te kwantificeren. Zeker voor toepassingen die direct gerelateerd zijn aan de veiligheid van waterkeringen.

4.4.1 Effect van stroming

Stroming heeft invloed op het golfveld dat leidt tot veranderingen in golfhoogtes, golfperiodes en richtingen. Deze veranderingen kunnen lokaal tot een energie toename of afname leiden, er is dus geen behoud van golfenergie. De richting en snelheid van de stroming ten opzichte van de golven bepaald deze verandering.

In alle uitgevoerde berekeningen voor het projectbureau Zeeweringen is echter geen stroming in de berekeningen meegenomen. Het doorrekenen met stroming van een dergelijke grote hoeveelheid berekeningen is zeer tijdsintensief. Daarom is ervoor gekozen om achteraf op stroming te corrigeren, op basis van één doorgerekende referentiestorm.

In de studie van Alkyon [ref 9] is het effect van stromingen op de golfcondities onderzocht. Het meenemen van stroming in de SWAN golfberekeningen heeft aangetoond dat dit effect niet mag worden verwaarloosd; de golfcondities (golfhoogte en golfperiode) worden hiervoor dan ook gecorrigeerd op basis van een doorgerekende geschematiseerde referentiestorm.

Oosterschelde

Op de Oosterschelde zijn stromingscorrecties bepaald op basis van berekeningen van een referentiestorm bij een waterstand van NAP+2m bij een windrichting van 270 graden [ref 17]. Deze zijn verwerkt in de numtabel 'OS-PBZ_280705_stroming.num'. De bepaalde stromingscorrecties worden ook representatief gesteld voor andere situaties, dat wil zeggen dat deze ook worden toegepast voor de overige waterstanden en windrichtingen. Deze stromingscorrecties zijn niet opnieuw bepaald bij de update van de golfcondities in 2005 [ref 19]. Er zijn stromingscorrecties bepaald voor elk uitvoerpunt voor zowel eb- als vloedstroom (meebewegende stroming en tegenstroom). Bij het bepalen van de maatgevende golfcondities per randvoorwaardenvak wordt echter ook de situatie zonder stroming beschouwd. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende waterstanden. Bij een waterstand van NAP+4m worden de golfcondities niet gecorrigeerd voor stroming, omdat de kering dan gesloten is, en er vanuit wordt gegaan dat het effect van stroming te verwaarlozen is. Het effect van de stroming wordt in de golfcondities verdisconteerd met behulp van het programma WindWater. Indien randvoorwaardenvakken worden opgeknipt kan WindWater de stromingscorrectie echter niet bepalen en dient dit handmatig te gebeuren (zie voor uitleg paragraaf 7.9).

Westerschelde

Bij de eerste berekeningen in de Westerschelde in 1997 [ref 6] waren de resultaten van onderzoek naar de invloed van stroming op de golven nog niet beschikbaar. Daarom is alleen incidenteel een stromingscorrectie op H_s toegepast, door de golfhoogte H_s met 0,2 m te verhogen. Deze correctie is toegepast voor situaties, waarbij de geul dichtbij de dijk ligt.

In de studie van 1998 [ref 9] is geconcludeerd dat het meenemen van stroming in de SWAN golfberekeningen niet mag worden verwaarloosd. Bij het tweede deel van de uitgevoerde berekeningen op de Westerschelde in 1998 [ref 9] zijn daarom stromingscorrecties bepaald voor elk uitvoerpunt (verwerkt in tabel 'ws160605_w2c.num'). De stromingscorrecties zijn bepaald op basis van een referentiestorm voor de windrichting 285 graden bij een waterstand van NAP+6m.

4.4.2 Correctie SWAN

Om validatie mogelijk te maken, zijn er kort na de start van het projectbureau vier meetlocaties in de Westerschelde ingericht, complementair aan de bestaande meetgegevens. In een later stadium is met behulp van de meetgegevens van gemeten stormen de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN onderzocht door middel van het maken van een aantal *hindcasts*, van gemeten stormen [ref 21], [ref 22], [ref 23]. De algemene conclusies van de *evaluatiestudie* uit 2003 [ref 23] zijn hieronder weergegeven.

- Naast de reeds daarvoor bekende onderschatting van de golfperiode wordt ook de golfhoogte door SWAN licht onderschat.
- De in 1997 en 1998 afgegeven golfcondities voor het ontwerp van dijkbekledingen langs de Westerschelde [ref 7] en [ref 9] zijn terecht gecorrigeerd met één seconde voor de golfperiode. Voor het merendeel van de dijkvakken is de toegepaste correctie van één seconde ruim voldoende als correctie voor de golfperiode om robuust te zijn. Een uitzondering vormen hierop de golfcondities bij dijkvakken aan de Westerscheldemonding en dijkvakken langs diep water (bodem tot NAP -4 meter). Voor deze twee categorieën geldt dat correctie van $T_{pm} + 1$ seconde te weinig marge biedt om de geconstateerde onderschatting te compenseren.

Op basis van deze *evaluatiestudie* [ref 23] zijn in 2003 correctiewaarden vastgesteld die toegepast moeten worden op de afgeleverde golfcondities uit 1997 en 1998 [ref 7 en 9]. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verschillende deelgebieden, namelijk Westerschelde monding en Westerschelde binnengebied³⁰. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen diepe (bodempligging lager dan NAP-4m) en ondiepe gebieden. Dezelfde correctiemethode wordt ook toegepast op de afgeleverde golfcondities uit 1998 van de Oosterschelde [ref 17], waarbij de gehele Oosterschelde als binnengebied wordt beschouwd³¹.

Kort samengevat zijn ter vervanging van de 'standaardcorrectie' van $T_{pm}+1$ seconde de volgende correcties doorgevoerd.

- **Diep water (> NAP-4m) voor zowel Ooster- als Westerschelde:**
 $H_s + 15\%$;

³⁰ Grens tussen monding en binnengebied Westerschelde ligt bij lijn Vlissingen - Breskens

³¹ Er is geen referentie van deze beslissing bekend

- **Monding (Westerschelde):**

$T_{pm} + 15\%$, met als ondergrens +1 seconde. Voor het binnengebied van de Westerschelde en voor de Oosterschelde blijft dus de 'standaardcorrectie' van $T_{pm}+1$ seconde gelden.

Deze correctiewaarden zijn toegepast in de advisering aan PBZ vanaf ca. eind 2003 tot mei 2006.

In 2005 heeft WL|Delft Hydraulics de modelafwijking van SWAN op basis van de *hindcast* geparameteriseerd [ref 24]. De correctiewaarden van beide Scheldes zijn bepaald met behulp van stormmetingen (3 stormen) langs de Westerschelde en Noordzee³². Op deze wijze is per uitvoerpunt, op basis van de berekende condities door vergelijking met de gemeten waarden, een modelcorrectie afgeleid voor de beschouwde golfparameters langs de Ooster- en Westerschelde. Deze correctie is vervolgens direct toegepast op de data van Oosterschelde (tabellen 'OS-PBZ_060523_wst023.num' en 'OS-PBZ_060523_wst234.num') en Westerschelde (tabel 'ws060310_w2d.num'). Vanaf juni 2006 tot augustus 2010 wordt deze gecorrigeerde dataset gebruikt voor de adviezen. Vanaf begin 2005 tot juni 2005 zijn de nieuwe inzichten t.a.v. de golftransmissie al ad hoc toegepast d.m.v. correctiefactoren. De door WL|Delft Hydraulics bepaalde correctiewaarden [ref 24] van de verschillende golfparameters (zowel H_s als T_{pm}) zijn afgetopt op 25% door het RIKZ. Dat wil zeggen dat de berekende golfcondities met maximaal 25% naar boven toe worden gecorrigeerd. De exacte achtergrond van deze aftopping is onbekend.

In 2008 is door Svašek een additionele studie [ref 25] verricht waarbij de correctiefuncties opnieuw zijn bepaald met een nieuwe uitgebreidere dataset (6 extra stormen). Uit deze studie is naar voren gekomen dat de correctiewaarden uit [ref 24] niet reproduceerbaar zijn. Daarom is besloten in [ref 25] om een andere vorm van correctiefuncties te gebruiken [ref 26]. In [ref 25] zijn de twee gebruikte formuleringen [ref 24] en [ref 26] van correctiewaarden voor golfcondities met elkaar vergeleken. Echter voor de correctiefunctie uit [ref 24] is gebleken dat het in verband met de niet-reproduceerbaarheid niet mogelijk is deze op de uitgebreide dataset toe te passen.

Omdat er bij de juistheid en toepasbaarheid van de correctiewaarden nog vragen waren en er begin 2010 een aantal onvolkomenheden (zie Appendix H, ref 27) naar boven gekomen zijn in de bestanden welke de basis vormen voor de eerder bepaalde correctiewaarden, is een vervolgstudie uitgevoerd door Svašek in 2010 [ref 27]. Deze onvolkomenheden zijn in deze studie gecorrigeerd en is een eenduidig advies geformuleerd. De in 2010 bepaalde correctiewaarden worden de correctiewaarden Svašek 2010 genoemd, ofwel aangescherpte correctiewaarden. Deze aangescherpte correctiewaarden worden vanaf augustus 2010 toegepast bij de advisering aan PBZ en vervangen de correctiewaarden uit de studie [ref 24]. De belangrijkste redenen om aangescherpte correctiewaarden te gaan gebruiken zijn:

- De betrouwbaarheidsparameters (zoals bias, standaardafwijking, rmse, zie [ref 27]) geven aan dat er minder afwijkingen tussen de gemeten en gecorrigeerde waarden zijn in vergelijking met [ref 24].

³² 5 meetstations op de Noordzee, 5 in de monding van de Westerschelde en 7 in het binnengebied van de Westerschelde. In de studie van Svašek [ref 27] zijn volgens advies van [ref 25] 3 Noordzee meetstations buiten beschouwing gelaten.

- Het gemiddelde van de gecorrigeerde SWAN golfparameters gedeeld door de gemeten golfparameters ligt bij Svašek 2010 iets dichterbij 1, dus gemiddeld komen de gecorrigeerde SWAN berekeningen beter met de metingen overeen.
- Bij de bepaling van de coëfficiënten in [ref 27] zijn de fouten uit [ref 24] gecorrigeerd.
- De vorm van de functie van Svašek 2010 is zodanig dat deze goed reproduceerbaar is, in tegenstelling tot [ref 24].

Met de correctiefuncties Svašek 2010 (volgens [ref 26]) is het mogelijk dat de correctiewaarden kleiner dan 1 worden. De correctiewaarden uit de studie van WL 2005 [ref 24] kunnen vanwege de vorm van de functie niet kleiner worden dan 1. Correctiewaarden kleiner dan 1 betekent dat de door SWAN berekende waarden zouden worden verlaagd. Op verzoek van projectbureau Zeeweringen is besloten correctiewaarden kleiner dan 1 te corrigeren naar 1 bij de bepaling van de randvoorwaarden. Met andere woorden, de door SWAN berekende waarden worden nooit verlaagd. De door WL bepaalde correctiewaarden in 2005 [ref 24] zijn afgetoet op 25% door het RIKZ. De correctiewaarden Svašek 2010 [ref 26] zijn vanwege het ontbreken van een goede fysische onderbouwing niet aan de bovenkant afgetoet.

Deze correcties zijn vervolgens direct toegepast op de data van zowel de Oosterschelde als de Westerschelde in de volgend tabellen³³:

- OS-Alkyon_Svasek2010_120710_023.num (Oosterschelde waterstanden NAP+0m/+2m/+3m)
- OS-Alkyon_Svasek2010_120710_234.num (Oosterschelde waterstanden NAP+2m/+3m/+4m)
- WS-Alkyon_Svasek2010_120710.num (Westerschelde waterstanden NAP+2m/+4m/+6m)

Deze data wordt vanaf augustus 2010 toegepast bij de advisering aan PBZ.

4.5 Berekening ontwerpwaarden voor golven tot april 2010

4.5.1 Bepalen tabellen met maatgevende golfcondities

Voor het ontwerp van een dijkbekleding wil de ontwerper weten welke windrichting de hoogste belasting veroorzaakt op de constructie. De belasting is dus de combinatie van golfhoogte en golfperiode, bij een bepaalde waterstand gegeven deze windrichting en de windsnelheid horend bij de normconditie. De mate waarin deze bijdragen aan de belasting is afhankelijk van het type bekleding. Omdat van te voren niet bekend is welke bekleding gebruikt zal worden in het ontwerp, is gekozen om drie tabellen met golfcondities te bepalen die de range aan belastingsfuncties voor steenzettingen³⁴ voldoende afdekken. De maatgevende combinatie wordt hierbij per waterstand, op basis van de beschikbare windrichtingen, uitgerekend door een sterk vereenvoudigde sterkteformule, die fungeert als sorteerfunctie:

$$S = k * H_s^a * T_{pm}^b \quad (4.1)$$

³³ In deze bestanden zijn de correctiewaarden Svašek 2010 [ref 26] dus al verwerkt, maar niet de correcties voor stroming

³⁴ De tabellen met golfcondities worden ook gebruikt voor berekening van losse breuksteen, asfalt en het faalmechanisme afschuiving

symbool	Omschrijving	waarde	eenheid
k	evenredigheidsconstante	1	-
a,b	factoren afhankelijk van type bekleding	1 of 2	-

Tabel 4.4 Omschrijving parameters belastingfunctie

Voor het projectbureau Zeeweringen worden voor de Oosterschelde drie verschillende tabellen met golfcondities bepaald, waarbij de belastingfunctie varieert volgens:

Tabel 1: Belastingfunctie $Z1 = H_s * T_{pm}$

Tabel 2: Belastingfunctie $Z2 = H_s * T_{pm}^2$,

Tabel 3: Belastingfunctie $Z3 = H_s^2 * T_{pm}$.

Voor de Westerschelde is over het algemeen slechts 1 verschillende tabel bepaald, maar in enkele gevallen zijn ook 2 of 3 tabellen afgegeven.

Het samenstellen van deze tabellen met golfcondities voor de Oosterschelde en Westerschelde is vergaand geautomatiseerd met behulp van WindWater2004 [ref 34], (zie bijlage 2 en paragraaf 4.7) en doorloopt de volgende stappen:

1. Toepassen van de correcties voor stroming (zie paragraaf 4.4.1) en;
2. Toepassen van de correcties voor modelafwijking (zie paragraaf 4.4.2) (deze is per begin 2006 reeds verwerkt in de bronbestanden);
3. Bepalen van de maatgevende golfbelasting per uitvoerpunt;
4. Bepalen van het maatgevende uitvoerpunt per randvoorwaardenvak;
5. Naar boven afronden van waarden voor golfparameters;

ad 3) Maatgevende golfbelasting per uitvoerpunt

De golftrandvoorwaarden op de uitvoerpunten worden bepaald voor een drietal belastingcombinaties. Hierbij wordt per uitvoerpunt, per waterstand, bepaald welke windrichting leidt tot de hoogste waarde voor de betreffende belastingfunctie $S = k * H_s^a * T_p^b$.

ad 4) Bepalen van het maatgevende uitvoerpunt per randvoorwaardenvak

Bij het vaststellen van de golfcondities per randvoorwaardenvak wordt gebruik gemaakt van de maatgevende waarden op de SWAN uitvoerpunten. Het uitvoerpunt dat de hoogste waarde heeft voor de belastingfunctie $S = k * H_s^a * T_p^b$ is representatief gesteld voor het hele randvoorwaardenvak. Het maatgevende uitvoerpunt kan verschillen per waterstand en belastingfunctie.

ad 5) Afronden van waarden voor golfparameters

De bepaalde ontwerpwaarden voor de golfcondities worden afgerond naar boven op 1 decimaal [ref 67].³⁵ Dit vanwege de onzekerheid in modeluitkomsten en onzekerheid in verandering van condities (bv bodemligging). Daarnaast is dit overeenkomstig de randvoorwaarden uit het Hydraulische Randvoorwaardenboek [ref 15].

NB: Zowel op de Oosterschelde als de Westerschelde is geconstateerd dat bij toename van de waterstand de golfcondities niet altijd toenemen. Hoewel dit fysisch mogelijk is struikelen de rekenprogramma's (bv. Steentoets), die gebruikt

³⁵ PBZ heeft echter in enkele gevallen om golftrandvoorwaarden afgerond op 2 decimalen gevraagd. Deze golftrandvoorwaarden zijn echter niet in een detailadvies of factsheet verwerkt [ref 67]

worden voor het ontwerp van de dijkbekleding hierover. Daarom wordt gesignaleerd of golfhoogte of golfperiode bij hoge waterstanden aflopen. Betreffende waarden worden met een oranje arcering aangegeven in het advies (zie [ref 30] en [ref 31]). De ontwerper kan dan de waarden handmatig corrigeren.

4.5.2 Keuze maatgevende tabel voor ontwerp dijkbekleding

In paragraaf 4.5.1 is beschreven hoe de drie tabellen ($H_s \cdot T_{pm}$, $H_s \cdot T_{pm}^2$ en $H_s^2 \cdot T_{pm}$) met golfcondities worden bepaald die de gangbare range aan belastingcombinaties voor bekledingen voldoende afdekken. Er wordt hier dus gebruik gemaakt van sterk vereenvoudigde belastingfuncties, die fungeren om het aantal mogelijke golfcondities (combinaties van golfhoogte, golfperiode en richting) te reduceren, gegeven de waterstand, voor alle windrichtingen en 1 windsterkte. De ontwerpers gebruiken uiteraard wél de “werkelijke” ontwerpformules, welke zijn verwerkt in programma's zoals Steentoets [ref 42]. De ontwerpers gebruiken de tabellen met golfcondities als input voor hun ontwerpprogramma's, die vervolgens weer gebruik maken van de werkelijke belastingfuncties. Uiteindelijk wordt door de ontwerpers bekeken welke combinatie de grootste (maatgevende) steendikte oplevert.

Door Svašek is in 2004 bepaald [ref 53] onder welke condities, welke klassieke belastingfunctie geldig is voor de belastingfuncties die ontwerpers gebruiken, uitgaande van de ontwerpformules die volgen uit de Voorschrift Toetsen op Veiligheid [ref 43]. Daarnaast heeft Svašek in 2006 [ref 54] onderzoek verricht naar de relatie tussen de verschillende dijkbekledingen, de klassieke belastingfuncties en de werkelijke ontwerpformules die volgen uit de Voorschrift Toetsen op Veiligheid. Het laatste onderzoek is samengevat in [ref 55]. Uit de onderzoeken [ref 54] en [ref 55] volgt voor verschillende bekledingstypes welke belastingsfunctie bij de huidige ontwerppraktijk maatgevend wordt:

Voor steenzettingen geldt:

Als $H_s \cdot \xi^2 / \text{lekhooft} \geq 28$

Hoofdzakelijk belastingfunctie $Z1 = H_s \cdot T_{pm}$ (tabel 1) maatgevend

Als $H_s \cdot \xi^2 / \text{lekhooft} < 28$

Hoofdzakelijk belastingfunctie $Z3 = H_s^2 \cdot T_{pm}$ (tabel 3) maatgevend

Voor het mechanisme **afschuiving** is $Z2 = H_s \cdot T_{pm}^2$ (tabel 2) maatgevend

Voor **(gekantelde) blokken, asfaltbekledingen en kleidijken** is belastingfunctie $Z3 = H_s^2 \cdot T_{pm}$ (tabel 3) maatgevend.

Met bovenstaande richtlijnen kan eenvoudig bepaald worden welke berekende belastingcombinatie maatgevend zal zijn in het ontwerp. Voor de detailadviezen is deze controle geautomatiseerd in een Excel tool, die beschreven is in [ref 56].

Vanaf februari 2008 (tot april 2010, zie volgende paragraaf) worden in de adviezen beschreven, welke belastingfunctie per bekledingstype maatgevend is. Daarbij wordt voor steenzettingen (en met name betonzuilen) aangegeven voor welk ontwerpbereik de betreffende belastingfunctie in ieder geval maatgevend is, namelijk voor welke:

- taludhelling
- dikte toplaag D

Het bereik van de taludhelling en de dikte van de toplaag worden bepaald met behulp van de Excel tool die beschreven is in [ref 56].

Aangenomen is dat de dikte van de bovenste filterlaag ligt tussen 0,05 m en 0,15 m en van de D15 tussen 0,01 m en 0,02 m bij een porositeit van 0,35. De maatgevende belastingfunctie is onafhankelijk van de dichtheid van de toplaag.

Indien het ontwerp buiten dit bereik valt, dient het ontwerp voor alle 3 de tabellen (Z1 t/m Z3) door gerekend te worden. Mogelijk wordt dan namelijk een andere belastingfunctie maatgevend, waardoor de maatgevende golfcondities kunnen veranderen.

4.6 Berekenen ontwerpwaarden voor golven na april 2010

4.6.1 Bepalen tabellen met maatgevende golfcondities

In het kader van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen zijn in de periode 2008 tot 2010 vele nieuwe formules ontwikkeld voor het toetsen en ontwerpen van steenzettingen. Deze nieuwe formules worden nu reeds gebruikt bij projectbureau Zeeweringen bij de toetsing en ontwerp van dijkbekledingen, deze zijn namelijk verwerkt in de nieuwere versies van Steentoets (versie 4.0 en hoger) [ref 42]³⁶. Hierdoor zijn de drie klassieke belastingfuncties (Z1 t/m Z3) niet meer toepasbaar.

Het is belangrijk dat deze nieuwe kennis ook wordt gebruikt bij het afleiden van de maatgevende golfcondities. Daarom is door Deltares in 2009 [ref 57] een aanzet gemaakt om de nieuwe kennis om te zetten naar nieuwe belastingfuncties. Daarbij is gebruik gemaakt van de kennis [ref 58], [ref 59], [ref 60].

Vervolgens zijn door Svašek in 2010 [ref 41] per bekledingstypes/faalmechanismes afzonderlijke belastingfuncties afgeleid (welke in het onderstaande gele blok zijn weergegeven), waarbij de volgende bekledingstypes en/of faalmechanismes zijn onderscheiden:

1. (Gekantelde) betonblokken en patroon gepenetreerde breuksteen
2. Steenzettingen(en met name betonzuilen)
3. Afschuiving, WAB, OSA, vol en zat gepenetreerde breuksteen
4. Losse breuksteen kreukelberm

³⁶ Momenteel wordt bij toetsing en ontwerp bij PBZ Steentoets2010 versie 1.04 (nov. 2010) gebruikt

Z4: Voor (gekantelde) betonblokken en patroon gepenetreerde breuksteen geldt:

$$Z = H_s T_{pm} \text{ (welke gelijk is aan de klassieke belastingfunctie Z1)}$$

Z5: Voor steenzettingen (betonzuilen) geldt:

$$\text{Criterium } \xi_{op} < 2: Z = \frac{1,07693}{F} H_s^{5/6} T_{pm}^{1/3} \tan \alpha^{1/3}$$

$$\text{Criterium } \xi_{op} > 2: Z = \frac{H_s}{F 2^{-1/3} - 1 + \frac{\xi_{op}}{2}}$$

Uitgaande van een taludhelling $\tan \alpha$ van 1/3,5, en een F-waarde van 6 kunnen deze Z-functies herschreven worden tot:

$$\text{Voor het criterium } \xi_{op} \leq 2 \text{ (ofwel } s_{op} \geq 0,02): Z = 0,1182 H_s^{5/6} T_{pm}^{1/3}$$

$$\text{Voor het criterium } \xi_{op} > 2 \text{ (ofwel } s_{op} < 0,02): Z = \frac{H_s}{3,7622 + 1 / (7 \sqrt{H_s / 1,56 T_{pm}^2})}$$

Z6: Voor afschuiving, WAB, OSA, vol en zat gepenetreerde breuksteen geldt: $Z = H_s$

Z7: Voor losse breuksteen kreukelberm geldt:

$$Z = H_s^{0,75} T_{pm}^{0,4}$$

Met: $\xi_{op} = \text{brekerparameter} = \tan \left(\psi \right) \sqrt{H_s / (56 T_{pm}^2)}$ (-)

D = Dikte toplaag (m)

F = constructie afhankelijke constante (-)

α = taludhelling (°)

s_{op} = golfsteilheid = $H_s / 1,56 T_{pm}^2$ (-)

In WindWater2010 [ref 36] zijn zowel de klassieke als de nieuwe belastingfuncties geprogrammeerd, in tegenstelling tot WindWater2004 [ref 34], waarin alleen de klassieke belastingfuncties zijn geprogrammeerd. Omdat vanaf april 2010 de maatgevende golfcondities met de nieuwe belastingfuncties worden bepaald is er toen overgestapt op het gebruik van WindWater2010, versie 5.0 [ref 36] i.p.v. WindWater2004 [ref 34]. Tot op heden zijn de nieuwe belastingfuncties alleen op de Oosterschelde toegepast.

De maatgevende golfcondities voor betonzuilen zijn afhankelijk van de taludhelling en de constructie afhankelijke constante (F). In het advies wordt aangegeven van welke taludhelling en F-waarde is uitgegaan bij bepaling van de maatgevende golfcondities. Dit is in alle gevallen een taludhelling van 1:3,5 en een F-waarde van 6. Daarnaast wordt in het advies aangegeven binnen welke grenzen van taludhellingen de golfcondities in de tabel geldig zijn en dat indien het ontwerp buiten dit bereik valt contact dient te worden opgenomen met de adviesschrijver. Het bereik wordt bepaald

met behulp van de spreadsheet “Verschil in golfcondities bij verschillende taluds.xls”, d.d. 21 juni 2010.³⁷

Er zijn ook vernieuwingen op de invloed van hoek van golfval op de stabiliteit van de toplaag [ref 57]. Omdat PBZ uitgaat bij het ontwerp van loodrechte golfval, wordt deze nieuwe kennis echter niet meegenomen bij de bepaling van de maatgevende golfcondities.

4.6.2 Invloed van lange golven op stabiliteit toplaag ($\xi_{op} > 2$)

De belangrijkste vernieuwingen in de formules voor het ontwerpen van steenzettingen, die van invloed zijn op de keuze van de maatgevende golfcondities zijn de invloed van lange golven op de stabiliteit van de toplaag en afschuiving. Tot op heden werd namelijk verondersteld dat de stabiliteit van een steenzetting (en met name betonzuilen) afneemt met de toename van de brekerparameter (ξ_{op}). Uit recente proeven blijkt echter dat de stabiliteit van een steenzetting een minimum bereikt bij $\xi_{op} = 2$ [ref 57] en [ref 58]. In de gevallen dat $\xi_{op} > 2$ wordt daarom met de belastingfuncties uit vorige paragraaf mogelijk niet de maatgevende golfcondities bepaald. Als in dat geval dezelfde golfhoogte kan optreden met een kleinere golfperiode³⁸, dan moeten toetsing en ontwerp met deze kleinere golfperiode uitgevoerd worden [ref 41] en [ref 57]. De stabiliteit van de steenbekleding is namelijk het kleinst bij $\xi_{op} = 2$.

Zoals in [ref 41] en [ref 57] wordt aangegeven kan deze lagere golfperiode bij gelijke golfhoogte in principe alleen optreden bij een ondiep voorland (bij een lagere windsnelheid dan de 1/4000^{ste} windsnelheid). Bij een lagere windsnelheid dan de 1/4000^{ste} windsnelheid zal zowel de golfhoogte als de golfperiode op het diepe water kleiner zijn. Echter zal dichtbij de dijk de golfhoogte nagenoeg gelijk zijn, aangezien deze vooral wordt bepaald door de lokale waterdiepte. De golfperiode zal dichtbij de dijk lager zijn dan bij de 1/4000^{ste} windsnelheid. Bij de dijk is daardoor bij een lagere windsnelheid de golfhoogte nagenoeg gelijk en de golfperiode neemt af, waardoor ook ξ_{op} afneemt en gelijk kan worden aan 2.

Vanaf april 2010 wordt bij de advisering aan PBZ indien bij de maatgevende golfcondities voor steenzettingen $\xi_{op} > 2$ en aanliggend aan de dijk een ondiep voorland aanwezig is, de golfperiode T_{pm} bij deze windrichting verlaagd totdat $\xi_{op} = 2$ (de golfhoogte blijft gelijk). De bijgestelde waarden worden met een rode arcering aangegeven in de tabel met maatgevende golfcondities [ref 30]. Omdat de bijgestelde waarden van T_{pm} zijn gebaseerd op één bepaalde taludhelling van 1:3,5 zijn deze waarden alleen geldig voor deze taludhelling. Indien van deze taludhelling wordt afwijken moet contact worden opgenomen met de adviesschrijver en/of kan de

ontwerper zelf de maatgevende periode bepalen door: $T_{pm} = 1,0613 * \frac{\sqrt{H_s}}{\tan \phi}$

³⁷ Er is alleen een spreadsheet voor de Oosterschelde beschikbaar, omdat er voor de Westerschelde nog geen vraag is geweest naar maatgevende golfcondities op basis van de nieuwe belastingfuncties [ref 41]

³⁸ De waarde van ξ_{op} benadert daardoor de waarde 2

Het voorland wordt als een ondiep voorland aangemerkt, indien aanliggend aan de teen van de dijk het maximaal ca. 5m diep is over een afstand van minimaal 100 m (= 2 golflengtes vanuit de teen en 1 golflengte vanuit het uitvoerpunt). Hier is met opzet een ruime benadering voor gekozen als conservatieve aanname.

4.7 Windwater

Het bepalen van de tabellen met maatgevende golfcondities per dijkvak voor de Oosterschelde en Westerschelde is vergaand geautomatiseerd met behulp van WindWater (zie bijlage 2). Vanaf ca. februari 2005 wordt WindWater2004 [ref 34] gebruikt, waarin alleen de klassieke belastingfuncties zijn geprogrammeerd. Omdat besloten is vanaf april 2010 nieuwe belastingfuncties [ref 41] te gebruiken, wordt vanaf die periode een vernieuwde versie van WindWater gebruikt, namelijk WindWater2010, versie 5.0 [ref 36]. In WindWater2010 zijn zowel de klassieke als de nieuwe belastingfuncties geprogrammeerd.

En uitgebreide beschrijving van zowel WindWater2004 als WindWater2010 is gegeven in bijlage 2.

In de studie van Svašek/Royal Haskoning uit 2008 [ref 37] zijn de hydraulische ontwerpwaarden op de Oosterschelde bepaald met WindWater2004 [ref 34], vergeleken met de ontwerpwaarden op basis van een andere versie van WindWater, namelijk WindWater2006 [ref 35]. In WindWater2006 zijn de klassieke belastingfuncties (Z1 t/m Z3) vervangen door gedetailleerdere formules voor verschillende faalmechanismen. In de detailadviezen vanaf ca. februari 2009 tot april 2010 is gecontroleerd of er verschillen optreden in bekledingdikte voor asfaltbekledingen, steenbekledingen en stortsteen als Windwater2006 wordt gebruikt in plaats van WindWater2004. In alle gevallen is in deze adviezen geconcludeerd dat de golfcondities volgens WindWater2004 robuust zijn en zijn de golfcondities niet gecorrigeerd op basis van de resultaten met WindWater2006.

4.8 Golven bij lagere waterstanden

Voor het ontwerpen van lage dijktafels, teenconstructies of kreukelbermen zijn regelmatig golfcondities nodig bij waterstanden lager dan de laagste berekende waterstand (NAP +2m op de Westerschelde en NAP +0m op de Oosterschelde). Deze golfcondities worden bepaald m.b.v. extrapolatie van de golfcondities bij hogere waterstanden.

Bijvoorbeeld in de Oosterschelde worden in de detailadviezen de golfcondities weergegeven bij waterstanden van NAP -1m en -2m. Deze zijn bepaald door de golfcondities die horen bij de waterstanden van NAP+0m en NAP +2m lineair naar beneden te extrapoleren.

Voor de toepassing in de detailadviezen wordt verwezen naar deel 1A en 1B van deze handleiding (zie paragraaf 2.5 van [ref 30] en [ref 31]).

4.9 Bepaling ontwerppeilen en waterstanden

In de detailadviezen opgesteld ten behoeve van het ontwerp van de dijkbekleding langs de Oosterschelde en Westerschelde zijn naast golftrandvoorwaarden ook ontwerppeilen gegeven.

Ontwerppeilen Westerschelde

De Ontwerppeilen (2060) van de dijkvakken langs de Westerschelde wordt vanaf 2001 op de volgende manier bepaald³⁹, zoals beschreven in [ref 73]:

Ontwerppeil (2060)

= Basispeil (1985) + hoogwaterstijging binnen de planperiode (1985 tot 2060).

De Basispeilen (1985) volgen uit “Basispeilen langs de Nederlandse kust” [ref 63] en zijn beschreven en omgezet naar de beschouwde randvoorwaardenvakken in [ref 72].

Let op: De definitie van het Basispeil verschilt met die van de Deltacommissie 1960 [ref 75], zie opmerking verderop in paragraaf.

Bij het bepalen van de Ontwerppeilen wordt rekening met de hoogwaterstijging. Bij het scenario van 20 cm/eeuw zeespiegelstijging geldt voor de HW-stijging [ref 63]:

- voor de kust een HW stijging van 25 cm (= zeespiegelstijging + toeslag van 5 cm)
- voor Vlissingen een HW stijging van 30 cm (= zeespiegelstijging + toeslag van 10 cm)
- voor Bath een HW stijging van 50 cm (= zeespiegelstijging + toeslag van 30 cm)

Uit beschikbare gegevens over de invloed van extra zeespiegelstijging op de hoogwaterstijging is gebleken dat bij een grotere zeespiegelstijging (van 20 cm/eeuw naar 60 cm/eeuw) de toeslagen voor de hoogwaterstijging hetzelfde blijven [ref 76].

Volgens bovenstaande uitgangspunten komt de hoogwaterstijging dan dus uit op:

- voor de kust 60 cm + toeslag van 5 cm = 65 cm/eeuw
- voor Vlissingen 60 cm + toeslag van 10 cm = 70 cm/eeuw
- voor Bath 60 cm + toeslag van 30 cm = 90 cm/eeuw

De Ontwerppeilen (2060) zijn naar boven afgerond op 5 cm. De uitgebreide aanpak is beschreven in [ref 72], [ref 73]

Ontwerppeilen Oosterschelde

In tegenstelling tot de Westerschelde geldt voor de Oosterschelde dat de effecten van de hoogwaterstijging op het Ontwerppeil niet in rekening gebracht worden. De waterstand bij een gesloten kering is namelijk alleen afhankelijk van het sluitpeil van de Oosterschelde. Als Ontwerppeil (2060) gelden daarom de toetspeilen uit ‘Hydraulische Randvoorwaarden 2006’ [ref 15], welke zijn afgerond op 10 cm⁴⁰. Tot ca. januari 2010 is het Ontwerppeil (2060) bepaald met behulp van de ‘Hydraulische Randvoorwaarden 2001’ [ref 14], daarbij zijn de waarden van het Ontwerppeil (2060) afgerond op 5 cm.

³⁹ In de voorafgaande periode is uitgegaan van een 20 cm zeespiegelrijzing. In de 3^e Kustnota [ref 74] is in 2001 vastgesteld dat bij beslissingen met een langere ontwerpduur (50 - 100 jaar) en grote investeringen met weinig flexibiliteit (dijken en stormvloedkeringen) uitgegaan dient te worden van een 60 cm zeespiegelstijging per eeuw. Daarom zijn in 2001 de Ontwerppeilen (2060) aangepast.

⁴⁰ In de HR 2006 [ref 15] en de HR2001 [ref 14] zijn deze toetspeilen afgerond op respectievelijk 10 cm en 5 cm, welke aanpak is overgenomen in de detailadviezen.

Meer informatie over de wijze waarop de ontwerppeilen langs de Oosterschelde bepaald zijn is te vinden in de notitie [ref 62].

Afwijkingen definities

Opgemerkt moet worden dat de gebruikte definitie in de detailadviezen voor het begrip 'basispeil' en 'ontwerppeil' afwijkt van de definitie afgeleid door de Deltacommissie 1960 [ref 75], zoals beschreven in de memo van Deltares [ref 61]:

- In de adviezen voor de Westerschelde wordt de term 'basispeil 1985' onjuist gebruikt, dit moet 'ontwerppeil 1985' zijn. Het basispeil is namelijk het peil van NAP +5,0m aan de peilschaal te Hoek van Holland en de daarmee gelijkwaardige peilen op andere plaatsen (d.i. peilen met gelijke overschrijdingsfrequentie). De overschrijdingsfrequentie van de basispeilen is dus per definitie gelijk gesteld aan 10^{-4} per jaar. De door de hoofdwaterkeringen beschermde belangen lopen in betekenis uiteen. Naarmate een hoofdwaterkering een belangrijker gebied beschermt, zullen de aan de waterkering te stellen eisen hoger zijn. Daarom zijn uit de basispeilen de zogenaamde 'ontwerppeilen' afgeleid. Voor de zeekeringen ten zuiden van Hoek van Holland wordt een 2,5 maal zo grote overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil verantwoord geacht.
- In tegenstelling tot de definitie van de Deltacommissie 1960 [ref 75] (zie punt hierboven) is in de detailadviezen voor de Westerschelde de waterstandstijging gedurende de planperiode van de kering (tot 2060) onderdeel van het ontwerppeil. Het ontwerppeil is daardoor geldig voor de geschatte toestand aan het einde van de planperiode. Eventuele toeslag voor bui-oscillaties en buistoten zijn ook hierin meegenomen.

Reguliere waterstanden

De basis voor de hoog- en laagwaterstanden is Tabel III van het getijtafelboekje [ref 77]. Voor gemiddeld tij, spring- en doottij zijn hierin de hoog- en laagwaterstanden gegeven (Slotgemiddelde 1991.0, [ref 64]) op een aantal meetstations. Voor de Oosterschelde zijn met behulp van de gegevens van een viertal meetstations de waterstanden doorvertaald naar alle dijkvakken langs de Oosterschelde [ref 62].

De reguliere waterstanden zijn niet gecorrigeerd voor zeespiegel- of hoogwaterstijging, omdat deze worden gebruikt t.b.v. de uitvoering van het werk op de dijk zelf. Op basis van bijvoorbeeld de gemiddelde laagwaterstand kan bepaald worden tot welke tafelhoogte de werkzaamheden "in den droge" uitgevoerd kunnen worden. De gemiddelde hoogwaterstand wordt vaak gebruikt voor scheiding van verschillende bekledingstypen.

5 TABELLEN IN DETAILADVIEZEN

5.1 Tabellen met golfcondities

Zoals hierboven beschreven worden aan de ontwerpers verschillende tabellen met golfcondities opgeleverd. Voor de Westerschelde zijn in het verleden meestal één, maar in enkele gevallen ook twee of drie tabellen opgeleverd. Voor de Oosterschelde zijn altijd drie verschillende tabellen afgegeven.

Tot april 2010 moest de ontwerper bepalen op basis van deze tabellen, welke tabel (belastingfunctie), leidt tot de hoogste waarde voor de steendikte. Vanaf april 2010 zijn per bekledingstype en/of faalmechanisme afzonderlijke tabellen afgegeven (zie paragraaf 4.6).

Vanaf maart 2007 worden de maatgevende golfcondities naast het reguliere detailadvies ook aan PBZ afgegeven in een bijbehorende Factsheet (Excel-sheet). In deze Factsheet zijn ook de ontwerpwaarden van de waterstanden weergegeven (zie volgende paragraaf). In deze Factsheet worden de tabellen in twee verschillende formats weergegeven, namelijk de opmaak overeenkomstig het detailadvies en een opmaak welke aansluit op het format van Steentoets, zodat de ontwerper de golfcondities eenvoudig naar Steentoets kan kopiëren.

Per tabel worden de volgende parameters weergegeven:

- Dijkvaknummer;
- Significante golfhoogte H_s bij de beschikbare waterstanden;
- Piekperiode T_p bij de beschikbare waterstanden (alleen voor eerste serie berekeningen Westerschelde [ref 6]);
- Gemiddelde piekperiode T_{pm} bij de beschikbare waterstanden;
- Waterdiepte ter plaatse van het maatgevende uitvoerpunt bij bijhorende waterstand
- Maatgevende windrichting per waterstand;

De golfrichting wordt niet gegeven, omdat de ontwerper de golfrichting niet gebruikt bij het ontwerp van de dijkbekleding. Voor de invalshoek van de golven wordt een conservatieve aanname gedaan, namelijk loodrechte golfinval op de dijk.

In de tabellen worden voor de volgende situaties kleurmarkeringen toegevoegd:

- Oranje: afnemende golfcondities bij hogere waterstanden, welke vooral voorkomen in de Oosterschelde bij een waterstand van NAP+3m naar NAP+4m, t.g.v. sluiting van de kering. De waarden van de golfcondities zijn niet gecorrigeerd in de tabellen;
- Oranje: Bij een afnemende waterdiepte bij een toenemende waterstand. Dit wordt veroorzaakt doordat een ander uitvoerpunt maatgevend is. Deze waarden zijn niet gecorrigeerd in de tabellen;
- Rood: Indien $\xi_{op} > 2$ bij de maatgevende golfconditie en er een ondiep voorland voor de dijk aanwezig is, is de golfperiode T_{pm} naar beneden bijgesteld zodat geldt $\xi_{op} = 2$ [ref 41] en [ref, 57];

- Blauw: Indien de berekende golfhoogte $H_s \leq 0.25 \text{ m}^{41}$ en/of golfperiode $T_{pm} \leq 2.5 \text{ s}$ zijn, zijn de betreffende golfcondities gecorrigeerd tot $H_s = 0.25 \text{ m}$ en/of $T_{pm} = 2.5 \text{ s}$, omdat de berekende golfcondities in die situaties mogelijk een onderschatting geven van de werkelijke optredende golfcondities [ref 66];
- Grijs: Bij de tabellen voor lagere waterstanden in het detailadvies, welke bepaald zijn door extrapolatie over de golfcondities bij hogere waterstanden, wordt de volgende controle uitgevoerd $H_s/D < 0.7$ en $H_s/L_0 \leq 0.06$. Indien in betreffende situatie niet aan deze voorwaarden wordt voldaan wordt de betreffende golfcondities gecorrigeerd en met grijs gearceerd.

Voor de verwerking hiervan in de detailadviezen wordt verwezen deel 1A en 1B van deze handleiding (paragraaf 2.5 van [ref 30] en [ref 31]).

5.2 Tabel met ontwerpwaarden waterstanden

In de tabel met waterstanden is eenzelfde dijkvakindeling aangehouden als in de tabel met golfcondities. Per randvoorwaardenvak worden de volgende gegevens weergegeven:

- Dijkvaknummer;
- Ontwerppeil;
- GHW/GLW;
- Springtij (HW/LW)
- Doodtij (HW/LW)

Daarnaast wordt voor de detailadviezen met betrekking tot de Westerschelde het Basispeil (1985) en de verwachte hoogwaterstijging binnen de planperiode (tot 2060) weergegeven.

5.3 Ligging randvoorwaardenvakken

Detailadviezen worden afgeleid per dijktraject (ook wel dijkvak genoemd), welke zijn onderverdeeld in een aantal randvoorwaardenvakken (ofwel dijkvaksegmenten). In de detailadviezen wordt onder het begrip randvoorwaardenvak een gedeelte van het dijktraject bedoeld, waarvoor randvoorwaarden zijn bepaald. De betreffende randvoorwaardenvakken worden opgesomd en de begrenzingen worden zowel in x, y - coördinaten t.o.v. Parijs als in dijkpaalnummering gegeven. Het beschouwde dijktraject in een detailadvies komt meestal overeen met een iets ruimer traject dan het ontwerptraject.

De meest recente kaartenset dateert uit februari 2010 [ref 68]. De eerder afgegeven en overlappende detailadviezen kunnen eenvoudig opgezocht worden met behulp van de overzichtskaart [ref 69]. Op de overzichtskaart zijn alle opgestelde detailadviezen weergegeven ⁴².

⁴¹ Tot april 2010 naar boven afgerond op 0,3 m, doordat tot die periode de golfcondities naar boven zijn afgerond op 1 decimaal en na april 2010 op 2 decimalen.

⁴² De recent geüpdate detailadviezen (vanaf april 2010) zijn nog niet verwerkt op deze overzichtskaart.

6 ACCENTVERSCHILLEN ADVISERING WESTERSCHELDE, OOSTERSCHELDE EN MONDING

6.1 Achtergrond verschillen

Voor de advisering kan er voor de Westerschelde en Oosterschelde eenzelfde systematiek gebruikt worden, zoals deze weergegeven is in hoofdstuk 4. Toch zijn er accentverschillen tussen beide systemen (voor zowel aanpak als watersystemen). Enerzijds zijn er de 'natuurlijke' fysische verschillen tussen de open Westerschelde en de afgesloten Oosterschelde. Anderzijds zijn er de modelmatige verschillen in uitgevoerde berekeningen tussen beide Scheldes.

In dit hoofdstuk worden de specifieke zaken beschreven m.b.t. de advisering van de Wester- en de Oosterschelde.

6.2 Specifieke zaken Westerschelde

Voor advisering in de Westerschelde kan de generieke aanpak gevolgd worden. Echter, om consistentie in advisering te waarborgen dienen de volgende zaken in de gaten gehouden te worden:

- Er is door het projectbureau en het voormalige RIKZ bewust gekozen om eerder afgegeven ontwerpwaarden niet te herzien door nieuwe kennis, tenzij aangetoond kan worden dat de eerder afgegeven waarden onveilig zijn. Onveilig in deze context betekent dat verwacht wordt dat de bekleding bij gebruik binnen het ontwerp bij een komende toetsing niet goedgekeurd kan worden;
- De huidige methodiek om ontwerpwaarden te bepalen met WindWater kan gebruikt worden om de golfcondities voor de Westerschelde globaal te controleren. De met WindWater berekende ontwerpwaarden zullen echter vaak anders zijn dan de originele ontwerpwaarden;
- De voorbereidingen voor de Westerschelde lopen al sinds 1996. Voor een aantal dijkvakken is reeds diverse malen advies geleverd voordat deze uiteindelijk in ontwerp zijn gaan. Daarom is de historie van de adviezen erg belangrijk. Checken welke adviezen er al geleverd zijn, en in het nieuwe advies de aanpak volgen van de voorgaande adviezen is dan ook van groot belang;
- Qua systeem is de Westerschelde een open estuarium dat zeer druk gebruikt wordt. Diverse gebruiksfuncties zijn zodanig geoptimaliseerd dat elke aanpassing directe consequenties heeft voor één of meerdere andere gebruiksfuncties. Let hier dus ook op bij de advisering, adviseer niet eenzijdig op fysisch gebied, maar wijs ook op potentiële effecten voor andere gebruiksfuncties (bijv. kruinhoogte, ecologie, scheepvaart, recreatie etc).

6.3 Specifieke zaken Oosterschelde

Bij advisering voor de Oosterschelde kunnen de golfcondities altijd 1 op 1 gecontroleerd worden met Windwater. Deze zijn *geheel reproduceerbaar*. Dit maakt het adviseren gemakkelijker. Daarnaast is het projectbureau nog maar *sinds 2004* bezig met de voorbereidingen voor de Oosterschelde, en is de 'advieshistorie' dus nog relatief kort.

De Oosterschelde is een voormalig estuarium wat in een transitiefase verkeerd naar een ondiep zeegat. Voor de adviezen zijn de volgende zaken belangrijk:

- De stormvloedkering in de Oosterschelde wordt pas bij hoge waterstanden gesloten. Tot maximaal NAP +3 meter zal deze kering gewoon geopend blijven, en kunnen lange golven de Oosterschelde binnendringen. In 2005 is op basis van projectmetingen de invloed van de kering op de golven herzien [ref 19] en [ref 20]. Er dringen meer lange zeegolven door dan gedacht. De korte golven worden vrijwel geheel door stroomcontractie en turbulentie geblokkeerd. Voor golfcondities tot ca. de lijn Kats-Zierikzee kan de Oosterscheldekering invloed hebben op de ontwerpcondities. Hierbij moet extra aandacht besteedt worden bij eventuele interpolaties en extrapolaties naar andere waterstanden. In de periode tot begin 2005 zijn de SWAN berekeningen met de oude transmissiecoëfficiënten voor de adviezen gebruikt. In de periode tot juni 2005 zijn de nieuwe inzichten t.a.v. de golftransmissie ad hoc toegepast d.m.v. correctiefactoren. Daarna is deze nieuwe transmissie generiek verwerkt in de bronbestanden voor WindWater door herberekening van alle relevante situaties. In de WindWatertabellen van na juni 2005 zijn de nieuwe inzichten op transmissiegebied meegenomen;
- Het ontwerppeil in de Oosterschelde is niet afhankelijk van de eventuele stijging van de zeespiegel. De Oosterscheldekering is altijd boven een waterstand van NAP+3 meter gesloten. Een hogere zeewaterstand zal resulteren in een hogere sluitfrequentie van de kering, maar in een gelijke waterstand in de Oosterschelde;
- In 2007 en 2008 is een onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling van de in de Oosterschelde aanwezige schorren en slikken [ref 39] en [ref 71]. Op basis van deze studies heeft het voormalige RIKZ het projectbureau Zeeweringen geadviseerd over het gebruik van de studieresultaten in het ontwerpproces. In [ref 38] zijn de randvoorwaardenvakken opgesomd waarvoor geldt dat het schor volgens de prognose volledig verdwijnt. Voor deze vakken geldt dat in de detailadviezen wordt aanbevolen om bij het ontwerp maatregelen te treffen om de stabiliteit van de bekleding voor de lange termijn (tot 2060) te kunnen garanderen. Maatregelen kunnen bestaan uit het doorzetten van de teen in het volgens de prognose verdwijnend schor of het treffen van beschermende maatregelen om schorerosie tot aan de dijk te voorkomen;
- De Oosterschelde verkeert in een overgangsfase waarin de geulen langzaam opgevuld worden met sediment van de platen. Dit wordt veroorzaakt door de realisatie van de Oosterscheldekering. Het duurt nog tientallen jaren voordat er in de Oosterschelde een evenwicht bereikt wordt, en de plaathoogte zal stabiliseren. In 2008 is er op basis van de gemeten bodemligging van 1990, 2001 en 2007 een toekomstprognose gemaakt voor de ontwikkeling van de bodemligging van de Oosterschelde tot het jaar 2112 [ref 40]. Deze bodemschematisaties (voor het jaar 2062) worden de prognosebodems genoemd. De impact op de golfcondities door het gebruik van deze prognosebodem in plaats van de ontwerp bodem is bestudeerd in [ref 33 en 40]. In de detailadviezen vanaf augustus 2010 wordt geadviseerd hoe in het ontwerp moet worden omgegaan met de uitkomsten van de studie [ref 33];
- In de studie uit 2008 [ref 37] zijn de hydraulische ontwerpwaarden op de Oosterschelde bepaald met WindWater2004 [ref 34] vergeleken met de ontwerpwaarden op basis van Windwater2006 [ref 35]. In WindWater2006 zijn de klassieke belastingfuncties (Z1 t/m Z3) vervangen door gedetailleerdere formules voor verschillende faalmechanismen. In de detailadviezen wordt vanaf ca. februari

2009 (tot april 2010⁴³) gecontroleerd of er verschillen optreden in bekledingdikte voor asfaltbekledingen, steenbekledingen en stortsteen als Windwater2006 wordt gebruikt in plaats van Windwater2004;

- Qua systeem is de Oosterschelde een open estuarium dat zeer druk gebruikt wordt. Diverse gebruiksfuncties zijn zodanig geoptimaliseerd dat elke aanpassing directe consequenties heeft voor één of meerdere andere gebruiksfuncties. Let hier dus ook op bij de advisering, adviseer niet eenzijdig op fysisch gebied, maar wijs ook op potentiële effecten voor andere gebruiksfuncties (bijv. kruinhoogte, ecologie, scheepvaart, recreatie etc).

⁴³ In april 2010 is over gegaan op gebruik van WindWater2010 [ref 36]

7 TIPS & TRUCS; HOE OM TE GAAN MET MINDER REGULIERE ADVIEZEN?

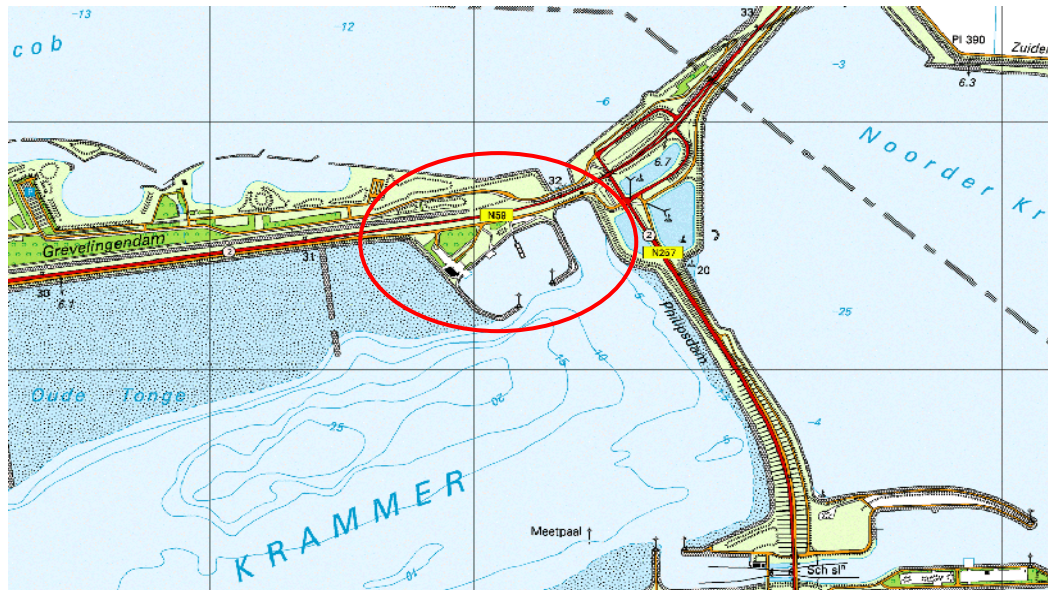
7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is de aanpak en de achtergrond van de adviezen uitgewerkt. Op basis hiervan kan het adviesproces vormgegeven worden. Het echte advieswerk is echter maatwerk en vraagt, naast kennis, specifieke ervaring en kennis uit het verleden. In dit hoofdstuk wordt een aantal situaties beschreven die minder regulier zijn, maar wel belangrijk zijn voor de golfcondities.

7.2 Havens

In de Ooster- en Westerschelde liggen de havens in veel gevallen vóór de primaire waterkering. Dit zijn vaak historische werkhavens die afhankelijk zijn van het getij. Figuur 7.1 geeft hiervan een voorbeeld. De haven ligt hier voor de primaire waterkering: de Grevelingendam. De havenhoofden reduceren de golfcondities in de haven en de golfbelasting op de achterliggende primaire waterkering. De havenhoofden maken echter in veel gevallen geen onderdeel uit van de primaire waterkering en worden niet gedimensioneerd op een maatgevende storm. In dit geval mag het gunstige effect van havenhoofden op de achterliggende primaire waterkering niet in rekening worden gebracht en moeten de havenhoofden tijdens een maatgevende storm als verloren worden beschouwd. In enkele gevallen (vooral bij dammen met veel volume in de dwarsdoorsnede) kan echter ondanks dat de havenhoofden geen onderdeel zijn van de primaire waterkering, toch het golfreducerende effect worden meegenomen. Hiervoor dienen afslagberekeningen te worden gemaakt (zie paragraaf 7.8).

Maken de havenhoofden echter wel onderdeel uit van de primaire waterkering of zijn ze bestand tegen de normconditie dan mag het reducerende effect van de havenhoofden wel in rekening worden gebracht. In dat geval kunnen bijvoorbeeld bepaalde windrichtingen uitgesloten worden bij de bepaling van de maatgevende golfcondities. Om de golven te vertalen van buiten de haven naar het gebied in de haven is door het voormalige RIKZ een rekenmethode ontwikkeld [ref 44], die onderdeel uitmaakt van het VTV [ref 43]. Met deze spreadsheet methode kunnen golfcondities van buiten de haven vertaald worden naar golven bij de primaire waterkering in de haven. In bijlage 3 wordt deze rekenmethode verder uitgelegd.



Figuur 7-1 Haven met twee voorliggende havendammen aan oostzijde van de Grevelingendam. Indien deze dammen bestand zijn tegen 1/4000^{ste} stormcondities kan het golfreducerende effect van de dammen worden verdisconteerd in de golfcondities in de haven

Als invoer voor deze methode zijn richtingsafhankelijke golfcondities (H_s , T_p of T_{pm} en golfrichting) en windsnelheden nodig voor alle relevante windrichtingen in de havenmond. Deze windsnelheden zijn weergegeven in tabel 4.1 [memo DWW 8-9-1997⁴⁴]. Indien er een WindWater-uitvoerpunt in de monding van de haven aanwezig is, volgen de richtingsafhankelijke golfcondities uit WindWater. Indien dit niet het geval is kunnen de richtingsafhankelijke golfcondities worden bepaald op basis van de uitkomsten van de berekeningen van SWAN, de zogeheten blockfiles [ref 51] en [ref 52]. In de blockfiles zijn de golfcondities (H_s , T_p en richting) gegeven over het hele beschouwde gebied in het rekenmodel. Hieruit kan op elke willekeurige locatie de berekende golfcondities uitgelezen worden⁴⁵. Daarna kunnen eventueel benodigde correcties en/of afrondingen toegepast worden.

7.3 Nollen en andere strekdammen

In de Westerschelde en Oosterschelde komen veel strekdammen en nollen voor. Strekdammen liggen voor de primaire waterkering en hebben als doel voorlanderosie te voorkomen. Deze strekdammen zijn vaak aangelegd in een poging om een sterk meanderende getijdengeul te beteugelen. Daarnaast zijn dammen aangelegd bij uitwateringssluizen ter bescherming van het voorland. Een nol is het overblijvende gedeelte dijk van een oude (al verdwenen) primaire zeewering, ten gevolge van een dijkval of stormvloed. In de luwte van strekdammen en nollen treedt vaak sedimentatie op, wat reducerend werkt op de golfhoogte. Nollen of strekdammen hebben dus *indirect* een gunstig effect op de golfbelasting voor de waterkering. Afhankelijk van de oriëntatie van de strekdammen hebben de strekdammen ook *direct* (afscherming) een gunstig

⁴⁴ Exacte referentie van deze memo is onbekend

⁴⁵ Omdat alleen op de roosterpunten van het model uitvoer wordt gegeneerd, moet daarbij meestal geïnterpoleerd worden tussen de nabijgelegen roosterpunten

effect op de achterliggende waterkering (zie figuur 7.2). Strekdammen maken echter in veel gevallen geen onderdeel uit van de primaire waterkering en zijn niet gedimensioneerd op een maatgevende storm. In dit geval mag het *directe* gunstige effect niet in rekening worden gebracht en moeten de strekdammen tijdens een maatgevende storm als verloren worden beschouwd. Het indirecte effect is meegenomen in de golfberekeningen.



Figuur 7-2 Kust bij Ouwerkerk met een tweetal nollen (hier genaamd Noordbout en Zuidbout), waar tegen aanzanding heeft plaatsgevonden. Het met rood aangegeven dijkgedeelte ligt beschut bij westelijke winden t.g.v. de Noordbout. Indien deze Noordbout bestand is tegen 1/4000^{ste} stormcondities kan het golfreducerende effect van deze nol worden verdisconteerd in de golfcondities van het met rood aangegeven traject

Maakt een nol echter wél onderdeel uit van de waterkering, dan dient gecontroleerd te worden of de golfbelasting van het betreffende dijkvak ook geldt voor de gehele nol. Dit kan door de ruimtelijke variatie van de golven (uit de blockfiles) te analyseren. Als de nol geen onderdeel van de zeekering uitmaakt, zal PBZ (over het algemeen) bij versterking van de achterliggende dijk een verborgen glooiingsconstructie bij de aansluiting van de nol naar de dijk aanleggen. Bij het bepalen van de golfcondities en het ontwerp van de dijk wordt er in dat geval van uitgegaan dat de nol in zijn geheel verdwijnt tijdens maatgevende stormcondities (nol wordt geheel weg gedacht). Dergelijke obstakels dan ook niet in de ontwerpbodem [ref 9 en ref 18] opgenomen.

7.4 Maatgevende windrichting is aflagdig

Bij enkele detailadviezen is geconstateerd dat de maatgevende golfcondities optreden bij een aflagdige, vaak onlogische windrichting. Het is in een aantal situaties niet ondenkbaar dat golven bij een aflagdige windrichting toch aanlandig kunnen zijn. Bij een sterk veranderende oriëntatie van de dijk, waarbij de geul dichtbij de waterkering ligt,

kunnen de golven door refractie toch aanlandig worden bij afluiddige windrichtingen. Voorbeelden hiervan zijn bij Kats (zuidoever Oosterschelde) en Hoedekenskerke (noordoever Westerschelde). Toch is het niet logisch dat deze golven maatgevend zullen zijn. Bij afluiddige wind moeten de golven namelijk flink bijdraaien om de kust te bereiken (refractie). Ze worden dus als het ware 'uitgesmeerd' over een groter oppervlak. Daardoor neemt de golfhoogte af. In SWAN kan er in deze situaties echter iets anders aan de hand zijn. Er zijn gevallen bekend waarbij in de betreffende versie van SWAN⁴⁶ in deze situaties onterecht laag frequente energie afkomstig van deining ten onrechte niet wordt gedissipeerd, waardoor de golfperiode irreëel hoog wordt. Hierdoor kunnen afluiddige windrichtingen onterecht maatgevend worden.

Daarnaast kan het voorkomen dat de stromingscorrectie zorgt voor een afluiddige maatgevende windrichting. De stromingscorrectie wordt vooralsnog bepaald voor één referentierichting en vervolgens als absolute correctie toegepast voor alle windrichtingen. Hierdoor is de relatieve bijdrage van de stromingscorrectie soms groot, waardoor een andere windrichting maatgevend kan worden.

In WindWater bestaan twee mogelijkheden om hier in detailadviezen rekening mee te houden. Allereerst kunnen niet relevante windrichtingen uitgesloten worden. Daarbij moet de situatie goed beschouwd worden, omdat golven sterk bij kunnen draaien. Deze methode wordt over het algemeen toegepast. Daarnaast kunnen schief invallende golven gereduceerd worden m.b.v. een reductiefunctie die afhankelijk gesteld wordt van de hoek van golfaanval. In enkele adviezen van vóór 2005 is de volgende reductiefunctie γ gebruikt in de belastingsfunctie:

$Z = \gamma * H_s^a * T_{pm}^b$, waarin:

$\gamma = 1$ voor $\beta = 0 - 80^\circ$;

$\gamma = 0.3$ voor $\beta = 110^\circ$;

$\gamma = 0.0$ voor $\beta = 180^\circ$.

Waarbij β de hoek ten opzichte van de dijknormaal is (voor tussenliggende waarden geldt een lineair verloop).

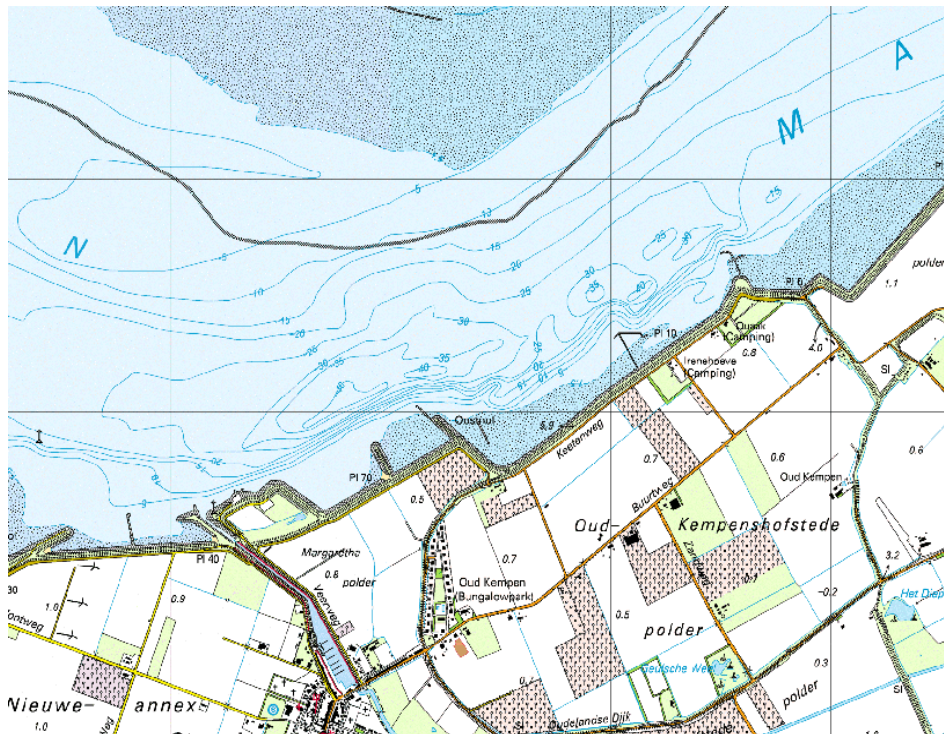
7.5 Afwijkende waarden voor golfperiode

Afgezien van bovengenoemde oorzaken kan de golfperiode hoger zijn in gebieden waar lange golven voorkomen. In de monding van de Westerschelde kan deze oplopen tot ca. 13 seconden. In een aantal situaties is echter ook geconstateerd dat hoge perioden op kunnen treden bij berekeningen met stroming. Hierbij waren de hoge golfperioden alleen zichtbaar bij de T_{pb} en/of de T_{pbeq} , welke gebruikt worden bij de bepaling van T_{pm} (zie ref 28, Appendix B voor de definities en Bijlage C1 van ref 33 voor de exacte gevolgd aanpak). Deze hoge golfperioden zijn niet zichtbaar bij gemiddelde perioden $T_{m-1,0}$ [zie ref 28 voor definitie]. Deze hoge golfperioden werden veroorzaakt door minutieuze laagfrequente piekjes in het golfspectrum.

⁴⁶ Versie 30.62 danwel 30.75. Deze zijn nagenoeg identiek. Verschil tussen beide is dat versie 30.75 spectrale golfrandvoorwaarden opgelegd kunnen worden. Het hier genoemde probleem is inmiddels in recente SWAN-versies opgelost. Echter deze versies zijn niet gebruikt bij de uitgevoerde berekeningen.

7.6 Hoge voorlanden en schorerosie in relatie tot golfbelasting

De Ooster- en Westerschelde zijn estuaria die onder invloed van natuurlijke processen (wind, stormvloed) aan verandering onderhevig zijn. Als gevolg van voorland- en schorerosie kan de golfbelasting voor de dijk veranderen. In figuur 7.3 is een stuk van de kust bij Stavenisse weergegeven waar de geul dichtbij de dijk ligt en weinig strekdammen aanwezig zijn. In de berekeningen met SWAN is rekening gehouden met de verwachte ontwikkeling van schorren en slikken (zie paragraaf 4.2). Over het algemeen zullen deze in hoogte afnemen. In alle gevallen is erosie van de schorren en slikken meegenomen in het model. Toch is de zaak om altijd te toetsen of de eerder gedane aannames reëel zijn in het licht van de huidige kennis.



Figuur 7-3 De kust bij Stavenisse, waarbij de geul dichtbij de dijk ligt en waarbij indien deze geul verder verschuift richting de kust instabiliteit van de dijk op kan treden en/of toename van de golfbelastingen

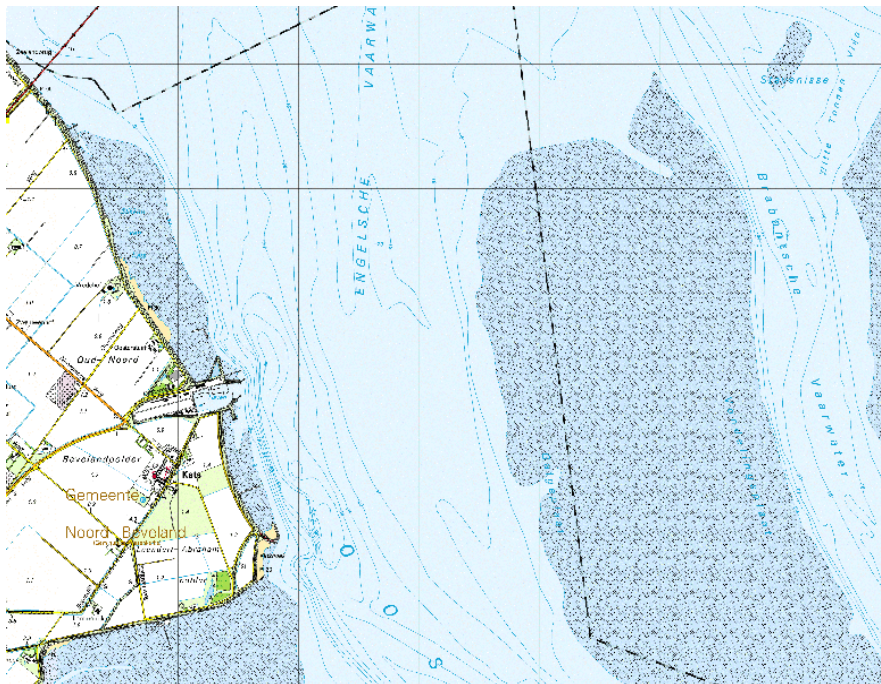
Inmiddels is er bijna 10 jaar meer aan schorrand metingen beschikbaar, en kan een voorspelling gedaan worden van de ligging en de hoogte van het schor gedurende de levensduur van het ontwerp. In 2007 en 2008 is er onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkeling van de in de Oosterschelde aanwezige schorren en slikken [ref 39], [ref 71]. Op basis van deze studies heeft het voormalige RIKZ het projectbureau Zeeweringen geadviseerd over het gebruik van de studieresultaten in het ontwerpproces [ref 38] en [ref 65].

Een veranderende hoogteligging is relevant voor de ontwerper. Indien de schorrand de dijk bereikt binnen de levensduur van het ontwerp, kan de stabiliteit van de constructie in gevaar komen. Maatregelen kunnen bestaan uit het doorzetten van de teen in het volgens de prognose verdwijnend schor of het treffen van beschermende maatregelen

om schorerosie tot aan de dijk te voorkomen. Verder kan een sterk aangepaste hoogteligging invloed hebben op de golfaanval. Over het algemeen is het pas zinvol⁴⁷ om dit te onderzoeken indien duidelijk is dat de golven in grote mate dieptebeperkt zijn boven het schor ($H_s/d > 0,5$ m).

7.7 Geulmigratie in relatie tot golfbelasting

De Ooster- en Westerschelde zijn estuaria die onder invloed van natuurlijke processen aan verandering onderhevig zijn. Als gevolg van geulmigratie kan de golfbelasting voor de dijk veranderen. Dit speelt met name voor dijken die in de nabijheid van geulen liggen en waarvoor geen strekdammen aanwezig zijn. In figuur 7.4 is een stuk van de kust bij Noord-Beveland weergegeven waar de geul dicht bij de dijk ligt en er weinig strekdammen zijn. In dit geval moet rekening worden gehouden met geulmigratie en dient getoetst te worden of de eerder berekende golfcondities nog wel representatief zijn voor deze locatie. Indien de diepte nu al significant meer is dan in de berekeningen [ref 9] en [ref 17] is aangenomen, kan besloten worden om uit te wijken naar een punt dat dieper gelegen is, en de golfcondities van deze locatie toe te passen bij de advisering voor het ontwerp.



Figuur 7-4 De kust bij Noord-Beveland, waarbij geulmigratie mogelijk effect heeft op de golfcondities

⁴⁷ Zinvol voor de invloed op de golfaanval. Indien de golven niet dieptebeperkt zijn heeft het weinig effect op de golfbelastingen op de dijk indien de schorrand landwaarts verplaatst of het schor lager komt te liggen. Voor de stabiliteit van de dijk is de ligging van het schor altijd van belang.

7.8 Duinvoorlanden en brede havendammen

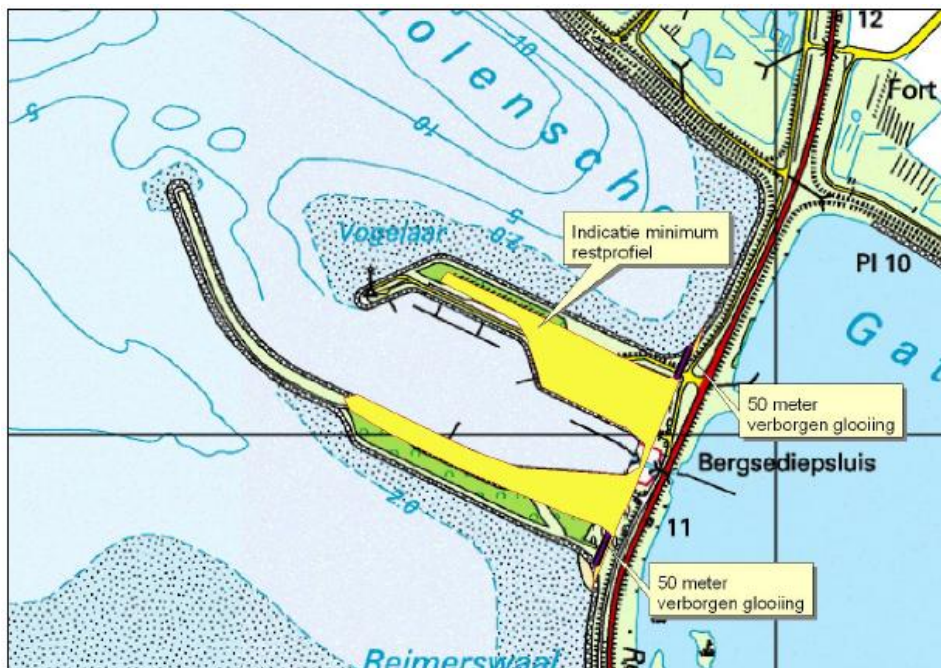
Op een aantal plaatsen in Zeeland zijn duinen aanwezig voor die voor een dijk liggen. Een voorbeeld hiervan is het duin bij de van Citterspolder (duinen bij de Kaloot)⁴⁸. Hier ligt een metershoog duin van enkele tientallen meters breedte voor een waterkering⁴⁹. Dit duin zal invloed hebben op de golfcondities. Echter de vraag is altijd hoe dit duin zich zal ontwikkelen tijdens een zware storm. Veel locaties liggen dichtbij een getijdegeul waar hoge stroomsnelheden optreden. Bij deze locaties is er geen sprake van een klassiek evenwichtsprofiel waarbij het afgeslagen zand van boven de hoogwaterlijn afgezet wordt op de vooroever. Dit sediment wordt door de geulen afgevoerd, en zorgt dus niet voor een effectieve golfdemping ter plaatse. Aan een duin mag pas reducerende werking toegekend worden indien aangetoond kan worden dat er gedurende de hele storm een verhoogd restprofiel aanwezig is. Ervaringen (uit zowel detailadviezen als van de beheerder) in de Westerschelde en Oosterschelde leren dat het duin toch vaak minimaal 10 meter breed moet zijn om een restprofiel over te houden wat reducerend werkt op de golfcondities.

Daarnaast kan er soms een dusdanige hoeveelheid zand voor de dijk liggen, zodat de achterliggende harde waterkering niet aan sterkte-eisen behoeft te voldoen. Dit kan berekend worden m.b.v. het afslagmodel DUROS-plus (zie [ref 46] voor achtergronden en beschrijving model). Dit model is toegepast in de Oosterschelde ter plaatse van Roompot [ref 47].

Bij brede havendammen (of bij plateaus) is het vaak kostenefficiënt om niet het gehele dam te versterken, maar een verborgen glooiing door de dam aan te leggen. Daarbij behoeft de verborgen glooiing niet altijd door de gehele dam te worden doorgezet, indien de dam voldoende volume heeft. Bij bijvoorbeeld de Bergdiepsesluis in de Oosterschelde (noordzijde Oesterdam) is berekend in hoeverre de dam tijdens maatgevende stormcondities kan eroderen, waaruit volgt tot waar de verborgen glooiing moet worden doorgetrokken [ref 48], zie figuur 7.5. Hierbij is gebruik gemaakt van het model DUROSTA {achtergronden beschreven in [ref 49]}, omdat het gewenst was verschillende stormscenario's door te rekenen en het verloop van de afslag gedurende de storm (dit is geen optie binnen DUROS-plus).

⁴⁸ Gelegen langs de Westerschelde tussen het oostelijke havenhoofd van de Sloehaven en de Noordnol bij Borssele

⁴⁹ Waarbij de waterkering op zich, niet is ontworpen op normcondities



Figuur 7-5 Restprofiel na storm bij Bergdiepsesluis en benodigde lengte en ligging verborgen glooiing

7.9 Bepalen van stromingscorrectie bij dijkvakopsplitsing of havenmond

In [ref 18] is beschreven hoe de stromingscorrectie wordt bepaald voor een dijkvaksegment. De stromingscorrectie wordt bepaald op basis van een gemiddelde H_s en T_{pm} over *alle*⁵⁰ uitvoerpunten die horen bij het dijksegment voor drie stromingssituaties (geen stroming, ebstroming en vloedstroming). In onderstaande gele blok is een getallenvoorbeeld gegeven.

Normaliter wordt de stromingscorrectie met WindWater2004 [ref 34] of WindWater2010 [ref 36] bepaald. Echter in de volgende twee situaties moet de stromingscorrectie handmatig worden bepaald (volgens onderstaand getallenvoorbeeld), omdat dit geen optie is binnen WindWater:

- Indien een dijkvaksegment wordt opgesplitst;
- Indien de golfcondities voor de havenmond moeten worden bepaald. In dit geval worden de golfcondities over het algemeen bepaald op basis van één uitvoerpunt. Voor dit uitvoerpunt wordt de lokaal berekende stromingscorrectie toegepast.

⁵⁰ Met uitzondering van droogvallende punten

In onderstaande tabellen is aan de hand van een getallenvoorbeeld aangegeven hoe de stromingscorrectie per dijksegment wordt bepaald (dit voorbeeld komt uit ref 18). Per dijksegment wordt eerst een gemiddelde H_s en T_{pm} bepaald voor de drie stromingssituaties (geen stroming, ebstroming en vloedstroming). Dit is weergegeven in Tabel 7.1 en 7.2.

Vervolgens wordt bepaald welke stromingssituatie maatgevend is (maatgevende situatie voor Z1 t/m Z3 zijn aangegeven met de ● in Tabel 7.3). Op de gemiddelde H_s en T_{pm} voor de drie stromingssituaties wordt de formule $H_s^a \cdot T_{pm}^b$ toegepast (zie Tabel 7.3). Voor alle drie belastingfuncties blijkt de stromingssituatie eb in dit voorbeeld maatgevend te zijn.

Tabel 7.1 H_s bij verschillende stromingssituaties

Hs (m)	stromingssituatie		
	geen	eb	Vloed
Uitvoerpunt			
1	1,0	1,2	1,0
2	1,1	1,3	1,0
3	1,2	1,3	1,1
gemiddeld	1,10	1,27	1,03

Tabel 7.2 T_{pm} bij verschillende stromingssituaties

Tpm (s)	stromingssituatie		
	geen	eb	Vloed
Uitvoerpunt			
1	6,0	6,4	5,6
2	6,0	6,5	5,7
3	6,1	6,5	5,7
gemiddeld	6,03	6,47	5,67

Tabel 7.3 Bepalen maatgevende stromingssituatie

1	2	3	4	5	6
stromings situatie	H_s gem (m)	T_{pm} gem. (s)	$Z1 = H_s \cdot T_{pm}$	$Z2 = H_s \cdot T_{pm}^2$	$Z = H_s^2 \cdot T_{pm}$
geen	1,10	6,03	6,62	40,00	7,30
eb	1,27	6,47	8,22 ●	53,16 ●	10,44 ●
vloed	1,03	5,67	5,84	33,11	6,02

Als bekend is welke stromingssituatie maatgevend is, wordt het verschil tussen de gemiddelde H_s en T_{pm} van de maatgevende stromingssituatie en de situatie zonder stroming bepaald. Het verschil in H_s en T_{pm} is de stromingscorrectie (Tabel 7.4). Deze stromingscorrectie wordt opgeteld bij de maatgevende combinatie van H_s en T_{pm} bij de verschillende waterstanden. Op de Oosterschelde wordt geen stromingscorrectie uitgevoerd bij NAP +4m omdat dan de Oosterscheldekering dicht is en de stroming dan nihil is.

Tabel 7.4 Berekening stromingscorrectie

$\Delta H_s =$	$H_{s, eb} - H_{s, geen}$	$1,27 - 1,10 = 0,17$	$\Delta H_s = 0,17$
$\Delta T_{pm} =$	$T_{pm, eb} - T_{pm, geen}$	$6,47 - 6,03 = 0,44$	$\Delta T_{pm} = 0,44$

REFERENTIES

Bij het schrijven van dit rapport is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- [1.] RIKZ, J.G. de Ronde, J.G.A. van Marle, A.P. Roskam, J.H. Andorka Gal: *"Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water"*, RIKZ/95.024, 1995
- [2.] RIKZ, A.P. Roskam, J. Hoekema: *"Randvoorwaarden voor golfperioden langs de Nederlandse kust"*, RIKZ/96.019, 1996
- [3.] KNMI, J. Wieringa, P.J. Rijkoort: *"Windklimaat van Nederland"*, 1983
- [4.] RIKZ, J.G. de Ronde, A. van Urk: *"Extreme windsnelheden langs de kust en in de estuaria"*, RIKZ/OS.101x, 1994
- [5.] RIKZ, J.H. Andorka Gál, P. Roelse: *"Westerschelde golfmodellering en golfrandvoorwaarden voor de dijkvakken Borsele polder, Wilhelmus-/Kruispolder, Klein Huissens-/Eendracht polder, Hans van Kruiningen polder"*, RIKZ/AB-96-868x, -97.801x, -96.869x, -97.832x en RIKZ/OS-97.110x, juli 1997
- [6.] Alkyon, G. van Vledder: *"Golfberekeningen Westerschelde"*, referentie A174R1r1, oktober 1997
- [7.] RIKZ, J. H. Andorka Gál, J.C.M. de Jong, A.T. Kamsteeg, J.G. de Ronde: *"Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde, gegeven een 1/4000 windsnelheid"*, RIKZ/97.046, 11 november 1997
- [8.] RIKZ, J.H. Andorka Gál: *"Betrouwbaarheid golfmodellen Hiswa en SWAN in de Westerschelde"*, RIKZ/OS-97.112, 1997
- [9.] Alkyon, G. van Vledder: *"Golfberekeningen Westerschelde 2"*, referentie A224R0r0, maart 1998
- [10.] RIKZ, J.H. Andorka Gál, J.C.M. de Jong, A.T. Kamsteeg, J.G. de Ronde: *"Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde, gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel 2)"*, RIKZ/98.018, 1998
- [11.] Alkyon, G. van Vledder: *"SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen"*, referentie A384R0r2, februari 1999
- [12.] RIKZ, P. Roelse: Werkdocument RIKZ/AB-97-853x, 1997⁵¹
- [13.] RIKZ, A.P. Roskam: *"Piekperioden van brede of meertoppige golfspectra"*, werkdocument RIKZ/OS-97.130x, 11 december 1997

⁵¹ Titel van het document is onbekend

- [14.] Ministerie van Verkeer en Waterstaat: *“Hydraulische Randvoorwaarden 2001”*, december 2001
- [15.] Ministerie van Verkeer en Waterstaat: *“Hydraulische Randvoorwaarden primaire waterkeringen, voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR 2006)”*, augustus 2007
- [16.] Technische Universiteit Delft, N. Booij, I.J.G. Haagsma, L.H. Holthuijsen, R. Padilla-Hernandez, R.C. Ris: *“User Manual SWAN Cycle 2 version 30.62”*, 1997
- [17.] Alkyon, G. van Vledder, G. Hartsuiker: *“Golfberekeningen Oosterschelde”*, referentie A246R0r0, juli 1998
- [18.] RIKZ, A.T. Kamsteeg, J.H. Andorka Gál, J.G. de Ronde, J.J. Jacobse: *“Golfberekeningen Oosterschelde”*, RIKZ/2001.006, 2001
- [19.] Alkyon, , F.J.H.Olijslagers, G. van Vledder,: *“Update golfcondities RAND2001 beïnvloedingsgebied OS-kering, herberekening westelijke winden”*, referentie A1483R1r2, 30 augustus 2005
- [20.] Alkyon: *“Golftransmissie Oosterscheldekering, analyse meetgegevens”*, referentie A1348, 2005
- [21.] RIKZ, J.J. Jacobse, A.T.M.M. Kieftenburg: *“Betrouwbaarheid golfcondities met SWAN”*, RIKZ/OS-2002.116x, november 2002
- [22.] Royal Haskoning, C. Gautier: *“Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde”*, 9M5697, juni 2003
- [23.] RIKZ, J.J. Jacobse: *“Evaluatie van de ontwerpwaarden voor golfcondities in de Westerschelde”*, RIKZ/2003.044, december 2003
- [24.] WL|Delft Hydraulics, J. Groeneweg: *“Correctiewaarden Zeeland, Fase 1: Bepaling correctiefuncties voor ontwerp”*, WL-rapport H4576, augustus 2005
- [25.] Svašek Hydraulics, M. van den Boomgaard, C. Gautier: *“Evaluatie betrouwbaarheid correctiefuncties Zeeland”*, 1 september 2008
- [26.] WL|Delft Hydraulics, J. Groeneweg, N. Doorn: *“Correctiewaarden Zeeland - Fase 3A: Herberekening met nieuwe randvoorwaarden”*, Projectnummer H4576, april 2006
- [27.] Svašek Hydraulics, P. van de Rest: *“Update correctiewaarden Zeeland”*, kenmerk: 1585/U10250/C/PvdR, 1 november 2010
- [28.] WL|Delft Hydraulics: *“Suite of bench mark tests for the shallow water wave model SWAN Cycle2, version 40.01 and updates”*, WL-rapport H3528, april 2000

- [29.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning, E. Arnold, J.J. Jacobse, P. van de Rest: *“Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2007 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 2 van 2: Achtergrond detailadviezen”*, 23 november 2007
- [30.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning, P. van de Rest, E. Arnold: *“Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 1A van 3: Checklist detailadviezen vanaf april 2010”*, februari 2011
- [31.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning, P. van de Rest, E. Arnold: *“Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 1B van 3: Checklist detailadviezen tot april 2010”*, februari 2011
- [32.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning, P. van de Rest, E. Arnold: *“Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 3 van 3: Verzameling toegepaste memo’s in detailadviezen”*, februari 2011
- [33.] Svašek Hydraulics, M. van den Boomgaard, P. van de Rest: *“Impact bodemprognose op detailadviezen Oosterschelde”*, MB/1565/09388/C, 8 januari 2010
- [34.] Xi-advies BV, P.K. Dekker, F.A.T. Kleissen: *“Gebruikershandleiding WindWater2004”*, februari 2005
- [35.] Xi-advies BV, M.T. Duits: *“Gebruikershandleiding WindWater2006”*, september 2006
- [36.] Xi-advies BV, P.K. Dekker, F.A.T. Kleissen: *“Gebruikershandleiding WindWater2010”*, 9 juli 2010, versie 5.0
- [37.] Royal Haskoning en Svašek Hydraulics, D. Hordijk, P. van de Rest, E. Arnold: *“Evaluatie robuustheid hydraulische ontwerpwaarden projectbureau Zeeweringen; Vergelijking WindWater2004 en WindWater2006 voor de Oosterschelde”*, 11 september 2008
- [38.] Memo Werkgroep Kennis, D. Hordijk: *“Impact schor-erosie op golfbelastingen”*, kenmerk: K-07-05-16, 23 mei 2007
- [39.] Royal Haskoning, J.J. Jacobse, O. Scholl, J. van de Koppel: *“Prognose van Schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde; Een Analyse naar de te verwachten ontwikkelingen tot 2060”*, kenmerk: 9T4814.B0/R0002/SJAC/SSOM/Rott, herziene uitgave 8 september 2008
- [40.] Royal Haskoning, J.J. Jacobse, M. van der Zel, E. Arnold, E.J. Hofstad: *“Toekomstprognose ontwikkeling intergetijdengebied Oosterschelde”* kenmerk 9T4814.A0/R0002/SJAC/SSOM/Rott, 12 december 2008

- [41.] Svašek Hydraulics, P. van de Rest: “*Memo nieuwe belastingfuncties steenbekledingen*”, PvdR/09358/1573/D, 18 januari 2010
- [42.] Deltares, M. Klein Breteler: “*Documentatie Steentoets2008 en Steentoets2010*”, november 2010
- [43.] Ministerie van Verkeer en Waterstaat: “*Voorschrift toetsen op veiligheid Primaire Waterkeringen*”, september 2007.
- [44.] RIKZ: “*Golfbelastingen in havens en afgeschermd gebied*”, RIKZ\2004.001, 15 februari 2004
- [45.] Svašek Hydraulics, P. van de Rest: “*Memo inventarisatie problemen spreadsheet havens*”, 13 augustus 2007
- [46.] ENW-rapport: “*Technisch rapport duinafslag; Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van het Voorschrift op Veiligheid*”, mei 2007
- [47.] Svašek Hydraulics, P. van de Rest: “*Duinafslagberekeningen Roompot met en zonder ECOBEACH*”, kenmerk: PvdR/1463/09292/C, 23 november 2009
- [48.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: “*Detailadvies Oesterdam*”, opdracht 2007.04.56, 14 juni 2007
- [49.] TU Delft, H.J. Steetzel: “*Cross-shore transport during storm surges*”, Ph.D. Thesis, 1993
- [50.] Coastal Engineering Research Center, Department of the Army: “*Shore Protection Manual*”, 1984
- [51.] Alkyon, G. van Vledder: “*Herstructurerings CD roms’s en controle invoerbestanden SWAN berekeningen*”, A447, 1999
- [52.] Alkyon, G. van Vledder: “*Herstructurering invoerbestanden SWAN berekeningen*”, A1672R1r0, 17 februari 2006
- [53.] Svašek Hydraulics, M. Jansen: “*Geschematiseerde belastingfuncties Oosterschelde, t.b.v. het vaststellen van de richtingsafhankelijke golfbelasting*”, MJA/03287/1284.1, 15 januari 2004
- [54.] Svašek Hydraulics, M. Jansen: “*Toepasbaarheid klassieke belastingfuncties Oosterschelde per dijkbekleding*”, concept rapport, MJ/06583/1340, december 2006
- [55.] Svašek Hydraulics, M. Jansen: “*Toepasbaarheid klassieke belastingfuncties voor ontwerp dijkbekleding Oosterschelde*”, werkdocument 2007.08.42, 25 februari 2008

- [56.] Svašek Hydraulics, P. van de Rest: *“Memo bepalen maatgevende belastingsfuncties”*, PvdR/1340/D07113/A, februari 2007
- [57.] Deltares, M. Klein Breteler: *“Belastingfunctie voor keuze maatgevende golfcondities”*, 21 oktober 2009
- [58.] WL|Delft Hydraulics, M. Klein Breteler, I. van de Werf, A. Bezuijen: *“Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen, Kwantificering golfbelastingen en invloed lange golven”*, H4421, juni 2006
- [59.] CIRIA, CUR, CETMEF: *“The Rock Manual, The use of rock in hydraulic engineering”*, 2007.
- [60.] Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW): *“Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren”*, november 2002
- [61.] Deltares, D. Dillingh: *“Definities basis-, ontwerp-, toets- en rekenpeilen”*, 30 juni 2009
- [62.] Svašek Hydraulics, M. Jansen: *“Hoog- en laagwaterstand en ontwerppeil per dijkvak Oosterschelde”*, opdracht RKZ-1906.016, 16 juni 2010
- [63.] RIKZ, M.E. Philippart, D. Dillingh, S.T. Pwa: *“De basispeilen langs de Nederlandse kust, de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen”*, rapport RIKZ-95.008, mei 1995
- [64.] Ministerie van Verkeer en Waterstaat: *“Tienjarig Overzicht, 1981-1990”*, 1994
- [65.] Werkgroep Kennis, D. Hordijk: *“Ontgrondingdiepte vooroevers Oosterschelde”*, K-07-05-17, 22 juni 2007
- [66.] RIKZ, E. Groenendaal: *“Toepassen minimale H_s en T_{pm} voor hydraulische advisering aan Projectbureau Zeeweringen”*, Memo H5102/EG/01, 31 maart 2008
- [67.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning, M. Jansen: *“Levering golfrandvoorwaarden voor adviesdiensten OS/WS in meerdere decimalen”*, maart 2009
- [68.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: *“Kaartjes met dijkvakindeling Oosterschelde en Westerschelde”*, opdracht RKZ1906.024, februari 2010
- [69.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: *“Overzichtskaart Oosterschelde en Westerschelde”* opdracht RKZ1906.024, mei 2010
- [70.] TU Delft N. Booij, R.C. Ris, L.H. Holthuijsen: *“A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation”*, J. Geoph. Research, 104, C4, 7649-7666, 1999

- [71.] Royal Haskoning, J.J. Jacobse: *“Detailadvies erosiediepte vooroevers Oosterscheldedijken”*, opdracht 2007.04.55 van mantelovereenkomst RKZ-1563, 11 mei 2007
- [72.] Werkgroep Kennis, J.J. Jacobse: *“Aanpassing basispeilen, conform het basispeilenrapport”*, Memo Werkgroep Kennis K-02-03-14, 16 januari 2002
- [73.] Werkgroep Kennis, A.T. Kamsteeg, J.J. Jacobse: *“Ontwerppeilen Westerschelde. Uitleg over de totstandkoming van de ontwerppeilen-tabel”*, Memo Werkgroep Kennis K-01-09-53, september 2001
- [74.] Ministerie van Verkeer en Waterstaat: *“3^e Kustnota, Traditie, Trends en Toekomst”*, december 2000
- [75.] Deltacommissie 1960: *“Rapport Deltacommissie, deel 1, Eindverslag en interim-adviezen”*, 1960
- [76.] Werkgroep Kennis, A.T. Kamsteeg, S. Vereeke: *“Ontwerppeilen Westerschelde”*, Memo Werkgroep Kennis K-01-66-44, 6 juni 2001
- [77.] Sdu Uitgevers: *“Getijtafels voor Nederland 2010”*, 2010
- [78.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning, P. van de Rest, E. Arnold: *“Opzet meenemen impact bodemprognose in update detailadviezen”*, 10 augustus 2010
- [79.] TU Delft, L. H. Holthuijsen, N. Booij, T. H. C. Herbers: *“A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents (HISWA)”*, Coastal Engineering, volume 13, mei 1989
- [80.] Royal Haskoning, J.J. Jacobse, O. Scholl, J. van de Koppel: *“Prognose van Schor- en slikontwikkelingen in de Oosterschelde; Een Analyse naar de te verwachten ontwikkelingen tot 2060”*, kenmerk: 9T4814.B0/R0002/SJAC/SSOM/Rott, 8 november 2006

Bijlage 1 **Projectstructuur**

Organisatie

Vanaf januari 2010 adviseren Svašek en Royal Haskoning rechtstreeks het projectbureau. De opdrachtgever is projectbureau Zeeweringen. De kwaliteitsborging van uitgevoerde werkzaamheden van een medewerker van Royal Haskoning gebeurt door een medewerker van Svašek en vice versa. De contactpersoon van Svašek en Royal Haskoning is verantwoordelijk voor het adviestraject, en begeleidt dit van begin tot eind. De contactpersoon levert het advies op aan de betreffende vraagsteller van PBZ. Het advies wordt zowel bij het projectbureau als bij Svašek/Haskoning gearhiveerd. Samenvattend zijn de rollen vanaf januari 2010 als volgt gedefinieerd:

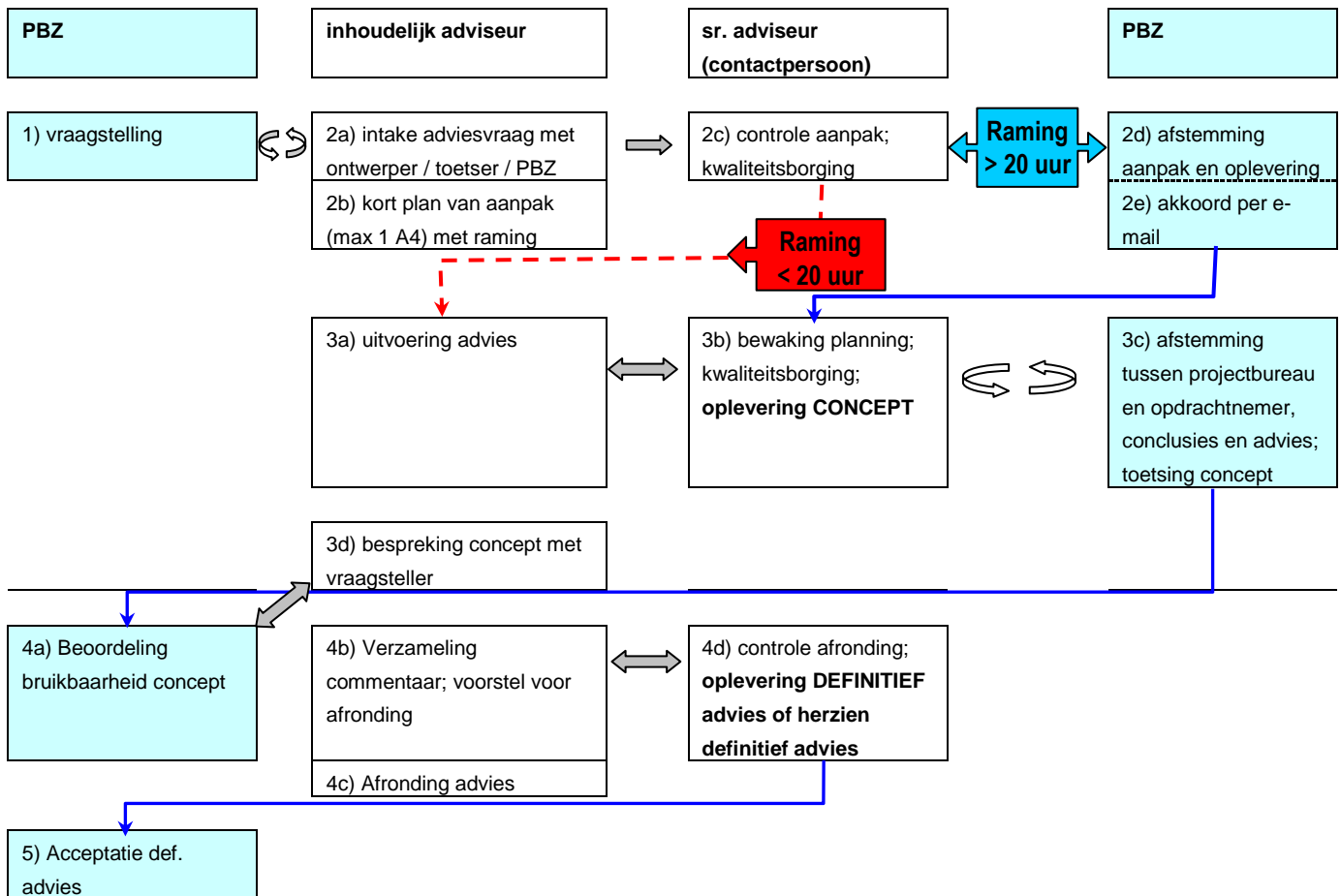
- PBZ** Staat centraal voor de advisering. Opdrachtnemer (Svašek/Haskoning) onderhoudt regelmatig contact met PBZ. Eén vaste dag in de 2 weken is een adviseur van opdrachtnemer aanwezig op het PBZ.
- Inhoudelijk adviseur** Krijgt een dijktraject toegewezen, en gaat in overleg met de ontwerper of toetsers aan de gang om een detailadvies te maken. De inhoudelijke adviseur zal de ontwerper of toetsers gedurende het gehele traject proactief adviseren.
- Senior adviseur** Achter de inhoudelijke adviseur staan een aantal senior adviseurs met een brede advieservaring voor Zeeweringen. Zij vormen het inhoudelijke en adviestechnische geweten van dit project. Hun rol is toezien op de juiste advisering (techniek + beleidskader) en de juiste kwaliteit (kwaliteitsborging zelf doen of organiseren).
- Contactpersoon** De contactpersoon (van hoofdopdrachtnemer Svašek) fungeert als centraal aanspreekpunt voor Projectbureau Zeeweringen. Tevens coördineert de contactpersoon het bezoek aan het projectbureau Zeeweringen en zal regelmatig bij het projectbureau aanwezig zijn. Minimaal 1 dag in de 2 weken is de contactpersoon of een inhoudelijke adviseur bij het Projectbureau Zeeweringen aanwezig om de rol van huisadviseur te vervullen
- Organisatie** De senior adviseurs maken deel uit van een netwerkorganisatie van deskundigen en experts op het gebied van hydraulische belastingen, veiligheid, morfologie, geotechniek en dijkontwerp, en kunnen deze deskundigen desgewenst inschakelen.
- Omgeving** De advisering aan Projectbureau vindt plaats in een projectomgeving waar Deltares, de Waterdienst, ENW en de Waterschappen deel van uit maken. Zij hebben ook directe contacten met projectbureau Zeeweringen. Deltares heeft als rol externe kwaliteitsborger en adviseur van PBZ naast Svašek/Haskoning. Deltares verzorgt adviesstudies en anticiperende studies, waarvan de resultaten weer worden

toegepast binnen de dagelijkse advisering door Svašek/Haskoning. De Waterdienst fungeert als opdrachtgever van Deltares: vanaf 2007 heeft de Waterdienst het lopende contract van het RIKZ met Svašek/Haskoning overgenomen. Het ENW (Expertise Netwerk Waterveiligheid) is het platform voor deskundigen op het gebied van beveiliging tegen overstromingen. Deze fungeert als een soort klankbordgroep waarbij getoetst wordt of een gekozen of aanbevolen methode voldoet en op draagvlak kan rekenen.

Productschema detailadviezen

De combinatie Svašek Hydraulics en Royal Haskoning fungeert als opdrachtaannemer van PBZ, waarbij Svašek optreedt als penvoerder en hoofdopdrachtnemer en Royal Haskoning als onderaannemer. In figuur A1 is een productschema weergegeven van het adviesproces, welke hieronder ook stapsgewijs is toegelicht:

- Een vraag van PBZ komt binnen bij de contactpersoon.
- Daarna volgt een vraagarticulatie, en wordt de vraag uitgezet bij een beschikbare inhoudelijke adviseur bij Svašek of Royal Haskoning. Gelijktijdig wijst de contactpersoon een senior adviseur aan als interne kwaliteitsborger. Het plan van aanpak wordt opgemaakt en in geval van grotere adviezen (>20 uur) afgestemd met PBZ. Zodra dit plan van aanpak geaccordeerd is, start het adviestraject.
- De inhoudelijke adviseur gaat in overleg met de ontwerper of toetsers aan de gang met een detailadvies. Indien uit de toetsing blijkt dat de bekleding niet voldoet, dan wordt de bekleding door PBZ versterkt op basis van het detailadvies.
- De inhoudelijke adviseur zal de ontwerper gedurende het gehele traject proactief adviseren. De kwaliteitsborging van uitgevoerde werkzaamheden van een medewerker van Royal Haskoning gebeurt door een medewerker van Svašek en vice versa.
- De contactpersoon van Svašek is verantwoordelijk voor het adviestraject, en begeleidt dit van begin tot eind (vanaf vraagstelling tot afronding advies). De contactpersoon levert ook advies op aan de betreffende vraagsteller van PBZ. Het advies wordt zowel bij het projectbureau als bij Svašek/Haskoning gearhiveerd.



Figuur A1: productschema organisatie detailadviezen (blauw = opdrachtgever, wit = opdrachtnemer)

Gebruik detailadvies

Alle bekledingen van het dijktraject worden getoetst door de beheerder (WSS) binnen de zesjaarlijkse (tot 2011 vijfjaarlijkse) toetsronde. Dit gebeurt op basis van de golfcondities uit het vigerende Hydraulische Randvoorwaardenboek (HR2006 [ref 15], en HR2001 [ref 14]). Met behulp van de golfcondities uit het detailadvies worden alle bekledingen van het betreffende dijktraject vervolgens nogmaals getoetst binnen PBZ (in de zogenaamde actualisatietoetsing of vrijgavetoetsing). Deze toetsing van PBZ is maatgevend en vindt dus plaats met ontwerprandvoorwaarden. Uit de toetsing volgt welke delen van het dijktraject onvoldoende zijn en verbeterd moeten worden binnen het ontwerp. Dit wordt vastgelegd in het vrijgavedocument.

De ontwerpers van Projectbureau Zeeweringen maken gebruik van de detailadviezen. Zij hebben het advies nodig om de bekleding van de dijk te kunnen dimensioneren. Projectbureau Zeeweringen bepaalt voor welke gebieden de detailadviezen gemaakt worden, afhankelijk van het jaar van uitvoering. Na uitvoering van de dijkverbetering wordt de nieuwe dijkbekleding nogmaals getoetst (binnen de overdrachttoetsing) met deze ontwerprandvoorwaarden uit het detailadvies of de update detailadvies door de beheerder (WSS).

Bijlage 2
Hand out WindWater2004 en WindWater2010

Inleiding Windwater

Om golfrandvoorwaarden voor dijkbekledingen te bepalen zijn SWAN berekeningen uitgevoerd (zie paragraaf 4.2) voor verschillende waterstanden en windrichtingen op de Oosterschelde en Westerschelde. Uit deze berekeningen moet voor elk randvoorwaardenvak (ook wel te noemen dijkvaksegment) de situatie gekozen worden die de meest maatgevende hydraulische belasting voor de waterkering oplevert. Hiervoor is door het voormalige RIKZ een procedure ontwikkeld.

Om deze procedure te automatiseren is een MATLAB programma ontwikkeld, de WindWater GUI, met de volgende functionaliteit:

- het inlezen van data afkomstig van de SWAN berekeningen (geleverd door Projectbureau Zeeweringen in ASCII formaat), en het opslaan van deze data in een algemeen toegankelijk MATLAB formaat,
- het berekenen van de maatgevende situatie per dijkvak,
- het exporteren van de berekende parameters naar een Excel werkblad via een ASCII koppeling tussen MATLAB en Excel,
- het inspecteren van de data van de modelsommen door middel van Windveer grafieken in een Previewer,
- het maken van indelingen in segmenten van de uitvoerpunten van de modelsommen.

Tijdens dit proces zijn ook een aantal controles ingebouwd, die het verdelen van uitvoerpunten over de dijksegmenten voor de gebruiker vergemakkelijken.

Vanaf WindWater versie 3.1 (WindWater2003) is het mogelijk dit proces voor zowel voor de berekening van SteenBekledingen als voor KruinHoogtes uit te voeren. Veel stappen in dit proces zijn voor beide berekeningen gelijk, echter om de procedure voor de gebruiker overzichtelijk te houden zijn voor beide paden aparte invoerschermen gemaakt. Na het opstarten van het programma kun je als gebruiker kiezen tussen de module: SteenBekledingen of KruinHoogtes. Aangezien Projectbureau Zeeweringen de taak heeft om de dijkbekleding aan te pakken wordt bij de advisering uitsluitend gebruik gemaakt van de module SteenBekledingen. Toetsen of aanpassen van de bestaande kruinhoogte valt namelijk buiten de scope van Projectbureau Zeeweringen.

In WindWater versie 3.1 is verder in de SteenBekledingsmodule een correctiefactor γ toegevoegd aan de berekening van de maatgevende belasting. Hierdoor wordt de hoek van golfval β bij de berekening betrokken. Deze wordt echter altijd op 0 gezet, waardoor er voor alle windrichtingen vanuit wordt gegaan dat de golven loodrecht invallen. Dit is een conservatieve aanname. Tevens wordt in de Preview modules gebruik gemaakt van topografische achtergronden, die gegenereerd worden door de XiMapService.

In WindWater versie 3.2 (WindWater2004 [ref 34]) zijn enkele aanpassingen doorgevoerd:

- stromingscorrectie kan zowel absoluut als relatief worden uitgevoerd, en kan per waterstand worden toegepast,
- parameters kunnen per waterstand zowel absoluut als relatief worden gecorrigeerd,
- het gebruik van meerdere soorten tabellen (stroming, parametercorrectie, oriëntatie, etc) kan in- en uitgeschakeld worden.

In WindWater versie 5.0 (WindWater2010)⁵² zijn vier nieuwe belastingfuncties toegevoegd aan de Steenbekleding module. Deze zijn geschikt voor de volgende bekledingstypen/ faalmechanismen:

- (Gekantelde) betonblokken en patroon gepenetreerde breuksteen
- Betonzuilen
- Afschuiving, WAB, OSA en vol en zat gepenetreerde breuksteen
- Losse breuksteen kreukelberm

Onderdelen WindWater2010

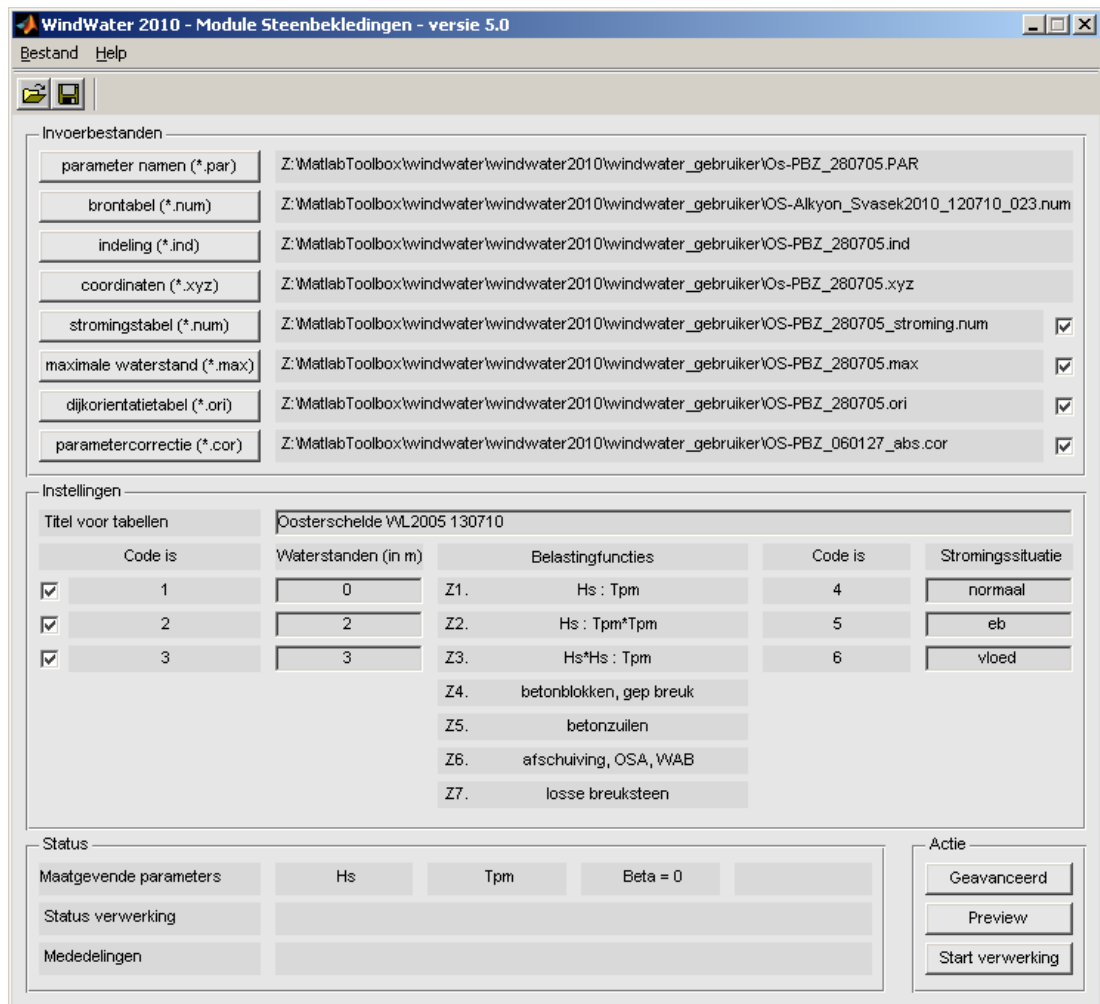
Hieronder wordt een korte omschrijving gegeven van de verschillende onderdelen van WindWater2010. Een uitgebreide omschrijving is te vinden in de Gebruikershandleiding van WindWater2010 [ref 36]. WW2010 is een uitbereiding van WW2004 en beschikt daarom over alle functionaliteiten van WW2004 [ref 34].

Hoofdscherm

Het hoofdscherm is het belangrijkste invoerscherm van WindWater. Hierin kunnen alle bestanden die nodig zijn voor WindWater ingelezen worden, zoals de tabel met golfgegevens en stromingscorrecties (num-tabellen), indeling van dijkvaksegmenten (ind) en parametercorrecties (cor-tabel). Merk op dat vanaf 2006 de parametercorrectie direct verwerkt is in de golfgegevens (num-tabellen). In dit geval wordt niet apart gecorrigeerd aan de hand van de cor-tabel. Dit houdt in dat achter elk dijkvak in de cor-tabel een nul is opgenomen. Onderstaand figuur (B1.1) toont het hoofdscherm, waarin ook de meest recente invoerfiles van WindWater zijn weergegeven voor de Oosterschelde.

Met de knop Start Verwerking kan uitvoer gegenereerd worden voor Excel. Hierna kan bijvoorbeeld in de spreadsheet windwatersb3ascii.xls deze data weer ingelezen worden, zodat de tabellen gemaakt kunnen worden.

⁵² Opgemerkt wordt dat versie 5.0 een aanpassing is op versie 3.2. Versie 4.0 (WindWater2006) bestaat ook, maar de wijzigingen die gedaan zijn om tot versie 4.0 te komen zijn niet opgenomen in versie 5.0.

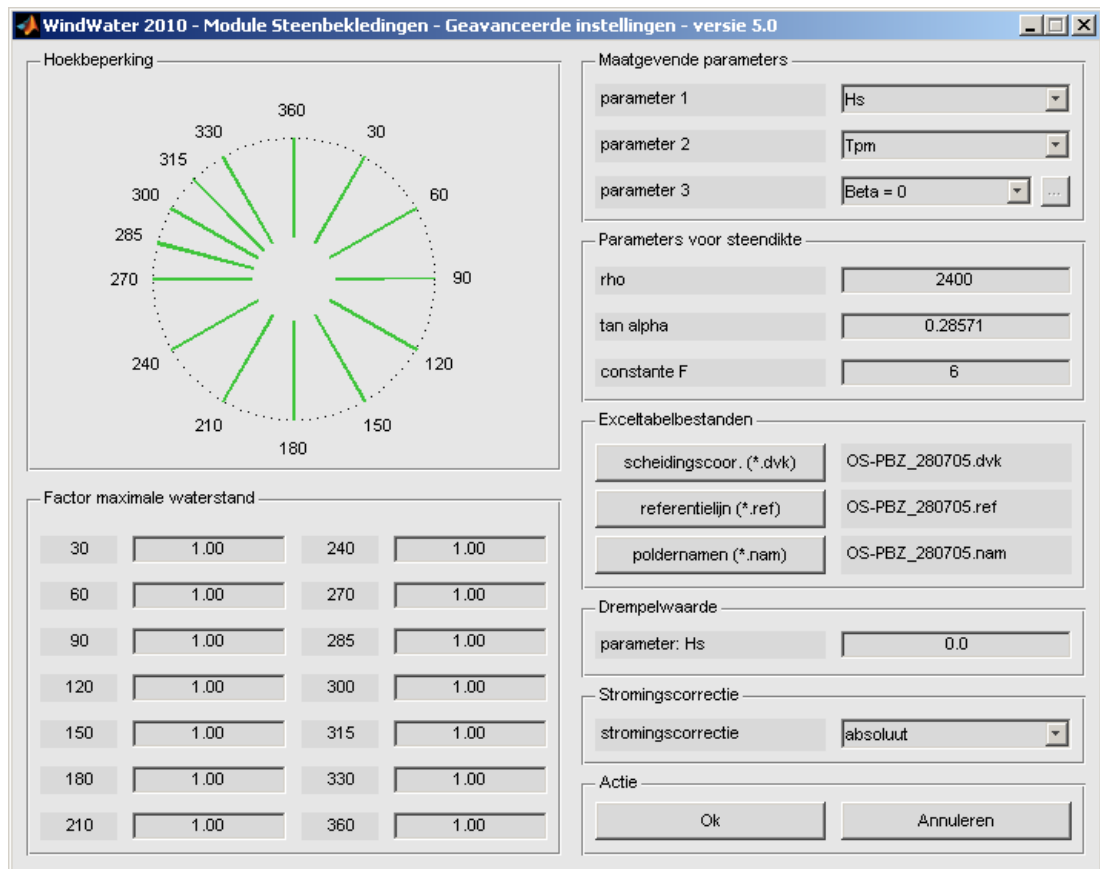


Figuur B1-1 hoofdscherm Windwater

Naast de benodigde bestanden moet de gebruiker ook aangeven welke waterstanden gebruikt worden en voor welke stromingssituaties correcties uitgevoerd worden.

In het menu Geavanceerd (zie Figuur B1.2) kunnen geavanceerde instellingen gebruikt worden, zoals het uitsluiten van hoeken, of het opleggen van correctiefactoren voor de hoek van inval. Daarnaast kunnen parameters ingevoerd worden die betrekking hebben op steenbekledingen (ρ , $\tan \alpha$ en constante F). De uitvoer van golfcondities van WindWater2010 is onafhankelijk de waarde van ρ . De uitvoer is echter wel afhankelijk van de constructieafhankelijk constante F en van $\tan \alpha$.

In alle gevallen is uitgegaan van $F=6$ en $\tan \alpha = 0,28571$ (1/3,5) [ref 41]. De gebruikte instellingen van WindWater2010 zijn weergegeven in Figuur B1.2.



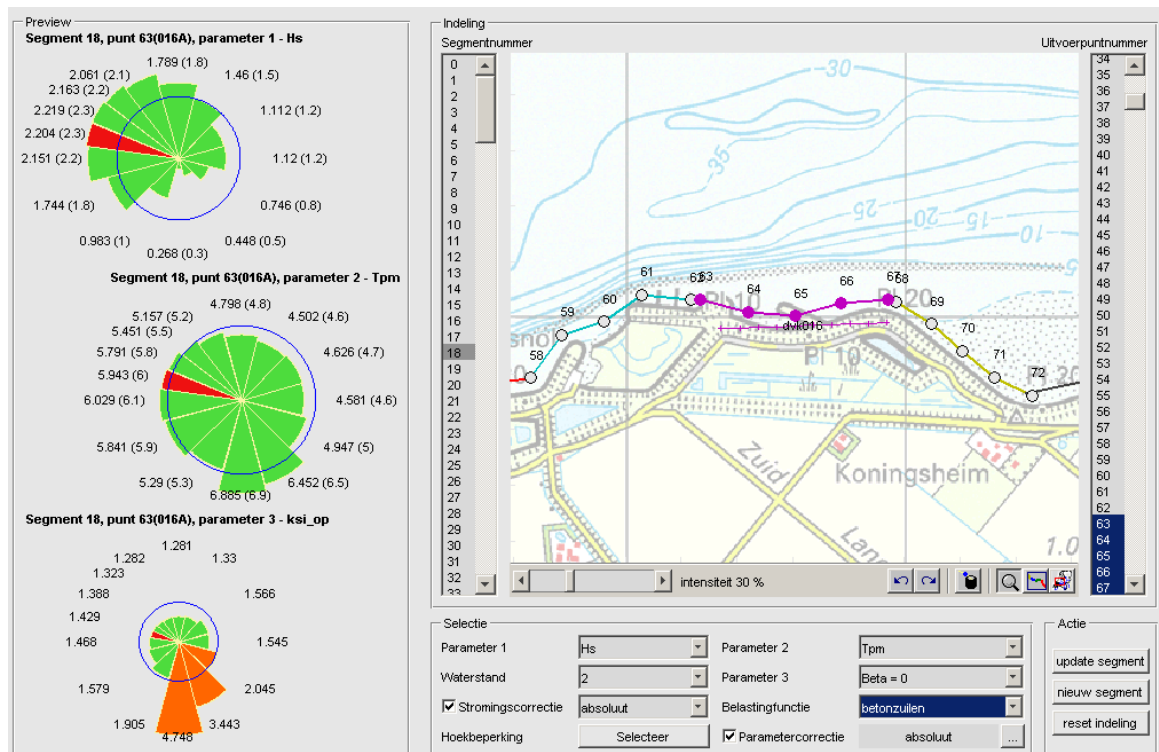
Figuur B1-2 menu geavanceerd WindWater

Preview scherm

Figuur B1.3 toont het Preview scherm. In het preview scherm kan snel gekeken worden welke golfcondities voor een bepaald dijkvak maatgevend zijn.

Het segmentnummer is een opeenvolgende nummering die gekoppeld is aan de dijkvaknummering. Omdat de dijkvaknummering soms bestaat uit vak a, b, en c, verschilt de segmentnummering met de dijkvaknummering.

Onder het overzichtsplaatje kan de waterstand, het wel of niet meenemen van correcties en de belastingfunctie bepaald worden.



Figuur B1-3 preview scherm windwater

In de Preview sectie worden de waarden van parameter 1, 2 en/of 3 en/of 4 getoond in de vorm van windveer grafieken. De derde parameter β wordt alleen getoond als [beta berekend] is geselecteerd. De ring in de figuur is de gemiddelde waarde over alle geselecteerde hoeken. De hoek bij de maatgevende combinatie wordt in rood getoond. Bij afwezigheid van geschikte data wordt de mededeling 'no valid data' gegeven. De vierde parameter ksi_op wordt alleen getoond als de belastingsfunctie [betonzuilen] is geselecteerd. De ring in de figuur komt overéén met de waarde 2. Indien de waarde 2 wordt overschreden (zie paragraaf 4.6.2) worden de segmenten met oranje aangeven.

Tips en trucs

WindWater draait onder Matlab. Hierbij enkele tips voor het gebruik van WindWater:

- Binnen WindWater is veel aandacht besteed aan het Preview-scherm. Dit scherm is daardoor vrij volledig en hieruit kan veel informatie gehaald worden. Met name voor controle van resultaten is het erg handig;
- In het preview scherm kan snel de invloed van stroming en parametercorrectie⁵³ bekeken worden, of de verhouding tussen de parameters;

⁵³ Parametercorrectie wordt vanaf begin 2006 niet meer toegepast, omdat de benodigde correcties al in de NUM-tabellen verwerkt zijn.

- WindWater werkt met uitvoerschermen die altijd zichtbaar zijn. Echter een aantal mededelingen worden gedaan in het basisscherm van Matlab. Bij vastlopen krijg je daar de mededelingen.

Problemen oplossen

Enkele veel voorkomende problemen:

- Bij het afsluiten van WindWater worden de laatste instellingen opgeslagen. Het kan zijn dat hierdoor de volgende keer WindWater vastloopt. Dan kan het beste WindWater opgestart worden met `WindWater('new')`;
- Bij Svašek loopt WindWater fout als tevens de MatlabToolbox/bin (vanwege het script `naut2cart.m`) directory in het path staat. Verwijder dit path door `rmpath('xxxxx/bin')`;
- Soms kan het Preview-scherm niet geopend worden. Als vervolgens wederom geprobeerd wordt het preview-scherm openen, komt de mededeling dat het scherm al geopend is. Door het commando "delete (3)" in te toetsen kun je het daarna wél openen;
- Bij een eerste installatie kan het zijn dat de topografische kaarten niet geladen worden. In de Matlabprompt verschijnt dan een foutmelding `xms-data not found`. In de directory `xi-utils` moet dan het bestandje `xms_path_settings.m` aangepast worden.
- Wanneer een dijkvak wordt opgesplitst binnen WW2010 wordt de stromingscorrectie onjuist berekend. De gepresenteerde golfcondities in het Preview-scherm zijn dan onjuist. WW2010 is daarom niet geschikt om de golfcondities te bepalen na opsplitsen dijkvak.
- In het Preview-scherm worden de onafgeronde waarden gegeven van de golfcondities (bijvoorbeeld H_s en T_{pm}). Hierdoor kunnen waarden in het Preview-scherm en de uitgevoerde Excelbestanden 0.01 meter of 0.01 seconde verschillen. De golfcondities in de Excel uitvoerbestanden zijn correct (naar boven) afgerond.

Bijlage 3
Hand out spreadsheetmethode Golfbelastingen in havens en
afgeschermdde gebieden

Inleiding golfrandvoorwaarden in havens

De hydraulische randvoorwaarden voor de Nederlandse primaire waterkeringen worden tot 2011 elke vijf jaar vastgesteld door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Na 2011 is dit eens per zes jaar. Deze randvoorwaarden zijn buitengaats van havens afgegeven. Om de primaire waterkeringen die aan de binnenzijde langs de haven liggen te kunnen toetsen op veiligheid, is een vertaling nodig van de hydraulische randvoorwaarden die buitengaats van de havens gegeven zijn, tot voor de waterkering rondom de havens. Hierbij is een vertaling nodig langs, door en over de afscherpende havenmonding van de havens.

In het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV, ref 43) is een methode omschreven om de vertaling van golfgegevens in de havenmonding naar de waterkeringen rondom de havens te maken. Deze is verwerkt in de zogenaamde Excel-spreadsheet "Rekeninstrument - Golfbelasting in Havens - v2-0.xls", welke in februari 2004 beschikbaar is gesteld en welke ook vanaf die periode wordt toegepast bij advisering aan PBZ.

Deze methode biedt de mogelijkheid om met relatief eenvoudige rekenregels de golfbelasting binnen een haven te bepalen. Hierbij worden een aantal belangrijke fysische processen in havens (diffractie, transmissie, interactie diffractie-transmissie en locale golfgroei, breken van golven op een ondiep voorland) in rekening gebracht. Processen zoals refractie en reflectie worden dus buiten beschouwing gelaten. Vanwege de eenvoud en het ontbreken van een aantal fysische processen zal altijd voldaan moeten worden aan een aantal toepassingscriteria (zie stap 4, paragraaf 2.2, ref 44); hierop dient als eerste te worden getoetst. Verder worden ook richtlijnen en criteria gegeven (zie hoofdstuk 4, ref 44) voor de toepassing van geavanceerde modellen voor het geval dat de gedetailleerde methode ontoereikend is of niet mag worden toegepast.

De methode leidt tot golfbelastingen die (veelal) zwaarder⁵⁴ zijn dan indien de condities met geavanceerde modellen zijn berekend. De golfperiode wordt bijvoorbeeld niet gereduceerd. Deze gedetailleerde methode voldoet derhalve aan het beginsel van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV, ref 43) om van een grove naar een fijne benadering toe te werken waarbij de eenvoudige benadering de meest conservatieve resultaten geeft en de geavanceerde benadering de minst conservatieve.

Korte omschrijving spreadsheet methode

Hieronder volgt een korte omschrijving van de spreadsheet-methode. Een uitgebreide omschrijving is het vinden in de handleiding bij de spreadsheet [ref 44].

Voorafgaand moeten de volgende vragen gesteld worden:

- Treedt er meervoudige transmissie/diffractie op? Als dit gebeurt mag de spreadsheetmethode niet gebruikt worden of de haven moet opgedeeld worden;

⁵⁴ Indien de methode correct en volgens de toepassingscriteria wordt toegepast leidt deze methode in principe altijd tot zwaardere golfcondities dan bij toepassing van geavanceerde modellen. Er zijn echter ook een aantal situaties naar boven gekomen, waarbij de spreadsheet-methode mogelijk lagere waarden geeft dan geavanceerde modellen, door onvolkomenheden in de methode. Deze onvolkomenheden zijn tot op heden niet vastgelegd.

- Treedt er significante reflectie op? Dit is vrijwel alleen het geval bij een havenbekken met hoge verticale kademuren;
- Treedt er significante stroming op? Ook dan mag de methode niet gebruikt worden.

Keuze van processen

Bij de keuze van mee te nemen processen gelden de volgende vragen:

- Is de invloed van diffractie van belang? Dit is vrijwel altijd het geval;
- Is de invloed van transmissie van belang? Transmissie treedt op bij lage havendammen en/of poreuze havendammen. Bij twijfel meenemen;
- Is lokale golfgroei van belang? Indien het havenbekken langer is dan 100 m golfgroei meenemen;
- Is er een voorland aanwezig? Dit is het geval bij bijvoorbeeld brede haventerreinen. Een voorland werkt verlagend op de golven, dus niet meenemen is conservatief.

Schematisatie van haven

In de handleiding [ref 44] staat omschreven hoe een haven geschematiseerd kan worden. Door de haven uit te tekenen kan voor elke golfrichting de bijbehorende x- en y coördinaten van de uitvoerpunten bepaald worden. Tevens moet voor elke golfrichting ook de equivalente breedte⁵⁵ tussen de havendammen bepaald worden.

NB: bij een enkelvoudige havendam kan de x-coördinaat positief of negatief zijn. Bij twee havendammen is de x-coördinaat altijd positief.

Tip: Indien de RD-coördinaten van uitvoerpunten bekend zijn, kan in Excel eenvoudig voor elke golfrichting de bijbehorende x- en y coördinaat bepaald worden, middels eenvoudige goniometrie (voor uitleg bepaling x- en y coördinaat zie blz. 24 ref 44).

Batch proces

Bij meerdere uitvoerpunten en meerdere windrichtingen is de batch-module⁵⁶ zeer praktisch. Dit werkt snel en kan zorgen dat in 1 keer alle resultaten verkregen worden.

Tip: Zorg er wel voor dat de gegevens die bepaald zijn middels een functie, elders ook nog aanwezig zijn, omdat tijdens het batch-proces alle cellen hun achterliggende functie verliezen (functies en verwijzingen worden tijdens de berekening overschreven, waardoor alleen de waarde in de cel wordt weergegeven).

Tip: Door de resultaten van de batch-module te kopiëren naar een apart bestand kan dit uitvoerbestand wat betreft grootte aanzienlijk verkleind worden (hierdoor worden namelijk de macro's verwijderd, welke niet benodigd zijn bij de analyse van de resultaten).

⁵⁵ Deze geeft de effectieve openingsbreedte tussen de havendammen weer, welke afhankelijk is van de golfrichting t.o.v. de oriëntatie van de havenmonding

⁵⁶ De batch-module is een onderdeel van de Excel-sheet, waarbij in één keer meerdere situaties doorgerekend kunnen worden in tegenstelling tot de standaard berekening, waarbij slecht 1 situatie gelijktijdig doorgerekend kan worden

NB: de macro's van het batch proces functioneren niet goed bij een Engelstalige versie van Excel (vanwege TRUE/FALSE i.p.v. WAAR/ONWAAR).

Tips & trucs bij gebruik spreadsheetmethode

Bij het gebruik van de spreadsheet Golfbelasting in Havens en afgeschermd gebied zijn er een aantal situaties waarin de spreadsheet buiten het bereik komt van de opgenomen diffractiediagramma van Goda [ref 50]. Als dat het geval is, geeft de spreadsheet een waarschuwing "X/L of Y/L buiten bereik". De waarde voor K_d (diffractiecoëfficiënt) is in die gevallen ook niet correct. De oplossing is in dit geval om de waarden van X/L of Y/L zodanig aan te passen dat deze binnen het bereik van de Goda-diagrammen blijven vallen. Het resultaat blijft hierbij zeer robuust, omdat de laatste bekende verhouding aangenomen wordt voor diffractie buiten het gedefinieerde gebied. In de memo [ref 45] zijn richtlijnen opgenomen op toch binnen het toepassingsbereik van de methode te blijven:

De belangrijkste aanpassingen en tips die volgen uit deze memo zijn:

- In de volgende situaties moeten de Y-waarden gecorrigeerd worden om een grove overschatting van de diffractie coëfficiënt K_d (en de mede daaruit volgende golfhoogte in de haven) te voorkomen:

Indien	Correctie Y-waarde ⁵⁷
$X/L_0 > 3$ en $Y/L_0 < 0.5$	$Y = 0.51 * L_0$
$X/L_0 > 6$ en $Y/L_0 < 1.0$	$Y = 1.01 * L_0$
$X/L_0 > 12$ en $Y/L_0 < 2.0$	$Y = 2.01 * L_0$
$X/L_0 > 24$ en $Y/L_0 < 4.0$	$Y = 4.01 * L_0$

Overige tips & trucs:

- Bij diffractiediagram Type 2 dient de absolute waarde van X toegepast te worden.
- Bij negatieve waarden van Y dient Y gelijk te worden gesteld aan nul.

⁵⁷ Aanpassing van de x-coördinaat heeft in deze gevallen niet het gewenste effect, situatie blijft buiten bereik van de Goda-diagrammen