

**Overstap van piekperiode naar
spectrale periode bij ontwerp
van steenzettingen**

Consequentie-analyse voor Zeeland



Overstap van piekperiode naar spectrale periode bij ontwerp van steenzettingen

Consequentie-analyse voor Zeeland

Dorothea Kaste
Mark Klein Breteler

1208045-006

Titel

Overstap van piekperiode naar spectrale periode bij ontwerp van steenzettingen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS-WVL	1208045-006	1208045-006-HYE-0001	17

Trefwoorden

Steenstoets, steenzetting, piekperiode, spectrale periode

Samenvatting

De stabiliteit van een steenzetting hangt af van de sterkte van de steenzetting en de grootte van de golven. De golfcondities worden meestal gekarakteriseerd door de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p . Echter, als er een dubbeltoppig spectrum optreedt, kan de piekperiode dit spectrum niet goed karakteriseren. Daarom is onlangs door Mourik en Klein Breteler (2013) aanbevolen om met de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ te rekenen bij het ontwerpen en toetsen van steenzettingen, omdat die ook voor een dubbeltoppig spectrum eenduidig is.

Met het programma Steentoets2014 kan de stabiliteit van een steenzetting berekend worden. Daarvoor is de mogelijkheid opgenomen om de spectrale golfperiode als invoer te gebruiken in plaats van de piekperiode. Deze wordt in het rekenhart om praktische redenen weer omgerekend naar een rekenwaarde van de piekperiode, middels een vaste formule op basis van metingen. Deze formule vertaalt de periodemaat als het ware naar een enkeltoppig spectrum, zoals dat steeds gebruikt is voor het afleiden van de formules die gebruikt zijn in Steentoets.

In het huidige onderzoek zijn de consequenties voor de steenzettingen langs de Westerschelde en de Oosterschelde ingeschat die kunnen optreden als vanaf nu de spectrale periode in plaats van de piekperiode als invoer wordt gebruikt in het programma Steentoets2014. Hiervoor is gebruik gemaakt van een drietal sets van hydraulische randvoorwaarden, waarmee de volgende vergelijkende berekeningen zijn gedaan: met de T_p en $T_{m-1,0}$ van de concept randvoorwaarden CR2011 voor de Westerschelde (concept wettelijk toetsinstrumentarium 2011), met de T_p en $T_{m-1,0}$ van de HR2006 voor de Oosterschelde (wettelijk toetsinstrumentarium WTI-2006) en met de T_p van de *ontwerprandvoorwaarden* van PBZ in combinatie met de $T_{m-1,0}$ van de CR2011 voor de Westerschelde.

Uit deze consequentie-analyse is naar voren gekomen dat voor de meeste steenzettingen het overstappen naar het rekenen met $T_{m-1,0}$ betekent dat de berekende stabiliteit groter wordt.

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

Deltares

Titel

Overstap van piekperiode naar spectrale periode bij ontwerp van steenzettingen






Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1208045-006	Kenmerk 1208045-006-HYE-0001	Pagina's 17
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Referenties

Waterdienst zaaknummer 31080349 / 4500210457 van 26 maart 2013

Contactpersoon Waterdienst: dhr. K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	feb. 2014	Dorothea Kaste		Robert 't Hart		Marcel van Gent	
2	mei 2014	Dorothea Kaste		Robert 't Hart		Marcel van Gent	

Status

definitief

Inhoud

Lijst met Figuren	iii
Lijst met Tabellen	iii
Lijst met Symbolen	v
Definities	v
1 Inleiding	1
2 Achtergrond	3
2.1 Verschil T_p en $T_{m-1,0}$	3
2.2 Verwerking van de overstap in Steentoets2014	4
2.3 Gebruikte hydraulische randvoorwaarden	5
3 Overzicht berekeningen	7
3.1 Algemene uitleg berekeningen	7
3.2 Vergelijking T_p met $T_{m-1,0}$ CR2011 - Westerschelde	8
3.3 Vergelijking T_p met $T_{m-1,0}$ HR2006 - Oosterschelde	10
3.4 Vergelijking ontwerprandvoorwaarden Zeeland met CR2011 - Westerschelde	11
4 Discussie en conclusies	15
5 Referenties	17
Bijlage(n)	
A Definitie van golfperiodematen	A-1
B Memo “Advies naar aanleiding van studie: ‘Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen’ ”	B-1

Lijst met Figuren

Figuur 2.1	Verhouding tussen T_p en $T_{m-1,0}$ bij enkeltoppige en dubbeltoppige spectra (Mourik en Klein Breteler, 2013)	3
Figuur 3.1	Verhouding f_s voor de CR2011 - Westerschelde Noord	8
Figuur 3.2	Verhouding f_s voor de CR2011 - Westerschelde Zuid	9
Figuur 3.3	Overzicht uitvoerpunten voor vergelijking CR2011 - Westerschelde	9
Figuur 3.4	Verhouding f_s voor de HR2006 - Oosterschelde	10
Figuur 3.5	Overzicht uitvoerpunten voor vergelijking HR2006 - Oosterschelde	11
Figuur 3.6	Verhouding f_s voor de ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 - Westerschelde Noord	12
Figuur 3.7	Verhouding f_s voor de ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 - Westerschelde Zuid	13
Figuur 3.8	Overzicht uitvoerpunten voor vergelijking ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 – Westerschelde	14

Lijst met Tabellen

Tabel 3.1	Resultaten van de vergelijking CR2011 - Westerschelde	10
Tabel 3.2	Resultaten van de vergelijking HR2006 - Oosterschelde	10
Tabel 3.3	Resultaten van de vergelijking ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 - Westerschelde	13
Tabel 4.1	Overzicht over alle resultaten van de vergelijkingen tussen T_p en $T_{m-1,0}$	15

Lijst met Symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
c_1, c_2	[-]	Coëfficiënten om de $f_{s,front}$ te berekenen
f_s	[-]	Factor m.b.t. stabiliteit (verhouding tussen twee $[H_s/(\Delta D)]_{max}$)
$f_{s,front}$	[-]	Invloedsfactor voor de belastingduur in geval van golffronten
H_s	[m]	Significante golfperiode
$H_s/(\Delta D)$	[-]	Stabiliteitsfactor van een steenzetting
N	[-]	Aantal golven
$T_{m-1,0}$	[s]	Spectrale golfperiode
T_p	[s]	Piekperiode
T_{pm}	[s]	Maatgevende piekperiode
T_{ps}	[s]	Piekperiode van een “gesmoothd” spectrum
$T_{p,reken}$	[s]	Rekenwaarde van de piekperiode binnen Steentoets
α	[°]	Taludhelling
β	[°]	Golfinvalshoek
ξ_{op}	[-]	Brekerparameter

Definities

- In dit rapport wordt de uitdrukking “spectrale (golf)periode” gebruikt. Hoewel er meerdere spectrale golfperiodes zijn, wordt in dit rapport alleen de periode $T_{m-1,0}$ bedoeld.
- Voor de vierde toetsronde waren hydraulische randvoorwaarden bepaald. Echter, omdat de vierde toetsronde is uitgesteld, zijn de hydraulische randvoorwaarden niet vastgesteld. Het zijn daarom alleen concept randvoorwaarden en dus in dit rapport CR2011 genoemd, behorende bij het concept wettelijk toetsinstrumentarium 2011.

1 Inleiding

Om de belasting van golven op steenzettingen te bepalen moeten de eigenschappen van de golven bekend zijn. De belangrijkste parameters van de golven zijn de golfhoogte en de golfperiode. Voor het karakteriseren van de golfperiode van onregelmatige golven zijn er meerdere mogelijkheden. Het golfveld kan worden gekarakteriseerd met de piekperiode T_p of de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ (zie ook hoofdstuk "Definities", Paragraaf 2.1 en Bijlage A).

Voor veel ontwerpberoeeningen van kustbouwwerken wordt de piekperiode T_p gebruikt. Daarmee kan de belasting door de golven goed worden berekend. Echter als er een dubbeltoppig spectrum optreedt, kan de piekperiode dit spectrum niet goed karakteriseren (zie Paragraaf 2.1). Daarom is het raadzaam om met de spectrale periode te rekenen, die ook voor een dubbeltoppig spectrum eenduidig is. Dit wordt voor sommige aspecten van kustwaterbouwwerken al gedaan, bijvoorbeeld voor golfloop en golfoverslag.

Het programma Steentoets2014 wordt gebruikt om de stabiliteit van zetstenen te berekenen. Daarvoor is de mogelijkheid opgenomen om de spectrale golfperiode als invoer te gebruiken in plaats van de piekperiode. Deze wordt in het rekenhart om praktische redenen weer omgerekend naar een rekenwaarde van de piekperiode, middels een vaste formule (zie Paragraaf 2.2) als ware het een normaal enkeltoppig spectrum, zoals dat steeds gebruikt is voor het afleiden van de formules die gebruikt zijn in Steentoets.

In dit rapport zal worden gekeken naar de consequenties voor de ontwerpen van de steenzettingen langs de Westerschelde en Oosterschelde, die optreden als vanaf nu de spectrale periode in plaats van de piekperiode als invoer wordt gebruikt in het programma Steentoets2014. Op basis van drie sets golfrandvoorwaarden zijn er vergelijkende berekeningen gedaan om dit in te schatten: voor de T_p en $T_{m-1,0}$ van de conceptrandvoorwaarden CR2011 voor de Westerschelde (concept wettelijk toetsinstrumentarium 2011), voor de T_p en $T_{m-1,0}$ van de HR2006 voor de Oosterschelde (wettelijk toetsinstrumentarium 2006), en voor de T_p van de ontwerprandvoorwaarden van PBZ in combinatie met de $T_{m-1,0}$ van de CR2011 voor de Westerschelde.

Structuur van dit rapport

In het volgend hoofdstuk wordt de achtergrond en de opzet van dit onderzoek gepresenteerd. Er wordt gekeken wat nodig is om de vraagstelling goed te beantwoorden. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de berekeningen gegeven en de resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 4 worden de resultaten samengevat en de conclusie gegeven.

2 Achtergrond

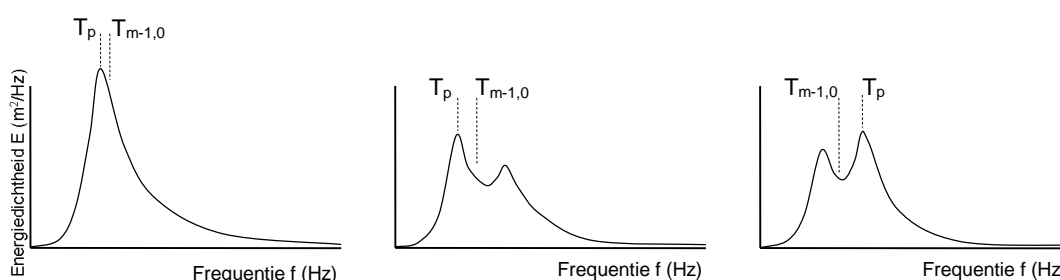
In dit hoofdstuk wordt de achtergrond van het huidige onderzoek uitgelegd. Ten eerste wordt op het verschil tussen T_p en $T_{m-1,0}$ ingegaan (Paragraaf 2.1). In Paragraaf 2.2 wordt de verwerking van de overstap in het programma Steentoets uitgelegd. In de navolgende paragraaf worden de verschillende gebruikte hydraulische randvoorwaarden voorgesteld.

2.1 Verschil T_p en $T_{m-1,0}$

Om een onregelmatig golfveld te beschrijven worden karakteristieke waarden voor de golfhogte en de golfperiode uit het spectrum van de golven gekozen. Voor de golfhogte is dit vaak de significante golfhogte H_s . Voor de golfperiode is tot nu toe voor steenzettingen meestal met de piekperiode T_p gewerkt. Deze geeft de golfperiode bij de piek van het spectrum weer. De definities van de verschillende golfperiodematen kunnen worden gevonden in Bijlage A.

Voor andere faalmechanismen van dijken, zoals golfoploop en overslag wordt de $T_{m-1,0}$ al langer gebruikt om het golfspectrum te beschrijven. Bijvoorbeeld was in Van Gent (1999, 2001) vastgesteld dat de golfperiode $T_{m-1,0}$ de invloed van het spectrum van de golven goed beschrijft voor golfoploop en golfoverslag. In andere studies is vastgesteld, dat de $T_{m-1,0}$ ook voor golfreflectie, de stabiliteit van stortsteentaluds en voor duinerosie het meest geschikt is (Van Gent et al, 2008).

Bij enkeltoppige spectra is de piekperiode een goede maat om het spectrum te karakteriseren (zie Figuur 2.1, links). Echter bij dubbeltoppige spectra kan een klein verschil in het spectrum een groot verschil in de waarde van T_p betekenen, zoals in Figuur 2.1 midden en rechts is getoond. Daarom is de piekperiode geen geschikte waarde om dubbeltoppige spectra te karakteriseren.



Figuur 2.1 Verhouding tussen T_p en $T_{m-1,0}$ bij enkeltoppige en dubbeltoppige spectra (Mourik en Klein Breteler, 2013)

Bovendien bestaan er veel varianten op de piekperiode T_p (Mourik en Klein Breteler, 2013). Hoe deze zich tot elkaar verhouden is onder meer te zien in de memo in de Bijlage B. Voor het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI) was voor vele watersystemen de T_{pm} bepaald, de periode in het zwaartepunt van het deel van het spectrum rond de piek. Voor de concept randvoorwaarden CR2011 is voor vele watersystemen overgestapt naar de T_{ps} , de “smoothed peakperiod”. Daarbij wordt de T_{ps} bepaald als een T_p van het afgevlakt spectrum,

waar alle piekjes uitgefilterd zijn. Opgemerkt wordt dat de waarden van T_{pm} en T_{ps} behoorlijk kunnen verschillen in Zeeland (Mourik en Klein Breteler, 2013). Hoewel dit niet voor alle situaties geheel juist zal zijn, wordt gesteld dat T_p , T_{ps} en T_{pm} bij benadering gelijk zijn (zie de memo in Bijlage B, Figuren 4.7 en 4.8).

De spectrale periode $T_{m-1,0}$ is eenduidiger te bepalen voor een golfspectrum, onafhankelijk of het enkel- of dubbeltoppig is. Ook bij een kleine verschuiving in het spectrum is er geen groot verschil in de waarde van $T_{m-1,0}$ (zie Figuur 2.1 midden en rechts).

In het onderzoek van Mourik (2012) was een vuistregel opgesteld om de T_p te corrigeren als er een dubbeltoppige spectrum aanwezig is. Dit is gedaan door de T_p met de $T_{m-1,0}$ te vergelijken en op basis van de verhouding verschillende rekenwaarden voor de T_p te bepalen. Deze zijn gebaseerd op de gewoonlijk gebruikte verhouding van $T_p/T_{m-1,0} = 1,1$.

Deze methode met de vuistregel is in een memo van Arnold (2012; zie Bijlage B) vergeleken met de in Zeeland gebruikte T_{pm} . Daaruit blijkt dat de in Zeeland gebruikte T_{pm} ook voor dubbeltoppige spectra een verhouding van $T_{pm}/T_{m-1,0} \approx 1,1$ heeft. In de memo wordt aanbevolen steeds met de T_{pm} te rekenen, omdat deze ook de dubbeltoppige spectra goed beschrijft.

In een daarop volgend onderzoek van Mourik en Klein Breteler (2013) is opnieuw de verhouding van T_p en $T_{m-1,0}$ geanalyseerd met betrekking tot de stabiliteit van steenzettingen. Daarvoor is een groot aantal grootschalige fysische modelproeven beschouwd. Dit onderzoek is gebruikt om de invoer van $T_{m-1,0}$ mogelijk te maken in het programma Steentoets, wat in de volgende paragraaf is uitgelegd.

2.2 Verwerking van de overstap in Steentoets2014

Steentoets2014 is een programma dat de stabiliteit van steenzettingen berekent (Klein Breteler, 2014). Het kan worden gebruikt voor ontwerp- of voor toetsberekeningen. Sinds kort kan in Steentoets ook de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ worden gebruikt als invoer voor de golfgegevens. Deze overstap was mogelijk door het onderzoek van Mourik en Klein Breteler (2013), waar een groot aantal modelproeven was geanalyseerd om het verschil tussen de spectrale golfperiode en de piekperiode te bepalen.

Het doel van het onderzoek van Mourik en Klein Breteler (2013) was een factor te bepalen, die het verschil tussen T_p en $T_{m-1,0}$ aangeeft met betrekking tot de stabiliteitsberekeningen van steenzettingen. Voor de berekeningen met Steentoets2014 kan dan de spectrale periode $T_{m-1,0}$ worden gebruikt als invoer. Deze wordt echter in het rekenhart met de bepaalde factor omgerekend naar een rekenwaarde voor piekperiode, als ware het een enkeltoppig spectrum. Dit is een praktische methode om gebruik te kunnen blijven maken van de formules die afgeleid zijn op basis van proeven met een normaal enkeltoppig spectrum met T_p als karakteristieke periodemaat.

De bij Mourik en Klein Breteler (2013) bepaalde factor heeft de constante waarde 1,084. Een vergelijkbare factor was al bepaald door Arnold (2012, zie Bijlage B) met een waarde van ca. 1,1, wat ongeveer hetzelfde resultaat oplevert. De factor is met de volgende formule in Steentoets2014 opgenomen, waarbij $T_{p, \text{reken}}$ de rekenwaarde voor de piekperiode is, die in de bestaande formules voor de stabiliteit van steenzettingen kan worden gebruikt (zie ook Klein Breteler, 2014):

$$T_{p, \text{reken}} = 1,084 \cdot T_{m-1,0} \quad (2.1)$$

Deze verhouding is afgeleid uit de proeven die gebruikt zijn voor de ontwikkeling van het rekenmodel Steentoets. Deze verhouding mag niet gebruikt worden voor het omrekenen van de piekperiode naar de spectrale periode in andere gevallen, zoals bij het afleiden van de ontwerp- en toetsrandvoorwaarden of bij andere typen bekledingen of faalmechanismen, omdat deze waarde alleen is gebaseerd op de analyse voor steenzettingen.

2.3 Gebruikte hydraulische randvoorwaarden

Om de consequenties van de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ te bepalen, zijn een drietal vergelijkingen gedaan. Ten eerste zijn de waarden van T_p en $T_{m-1,0}$ vergeleken van de CR2011 voor de Westerschelde, met betrekking tot de stabiliteit van steenzettingen. Voor de Oosterschelde zijn geen nieuwe berekeningen gedaan voor de CR2011, dus zijn daar de waarden van de HR2006 nog van toepassing. Weer zijn de T_p en de $T_{m-1,0}$ vergeleken voor de stabiliteit van steenzettingen. Ten derde zijn de ontwerp- en toetsrandvoorwaarden van Zeeland vergeleken met de $T_{m-1,0}$ van de CR2011. Voor alle cases zijn de waarden bij toetspeil bekeken.

Voor de Westerschelde zijn de concept randvoorwaarden CR2011 beschikbaar. Hoewel de vierde toetsronde (2011 - 2017) niet is gestart, zijn de hydraulische randvoorwaarden al opgezet voor de Westerschelde. Voor het huidige onderzoek is een tabel van de CR2011 gebruikt met verschillende golfeigenschappen bij toetspeil, zoals de golfvalshoek, de significante golfhoopte, de piekperiode en de spectrale periode. De piekperiode is in dit geval de piekperiode van een "gesmoothd" spectrum, de T_{ps} , zie Paragraaf 2.1. Meer informatie kan worden gevonden in Gautier & Groeneweg (2012).

Voor de Oosterschelde zijn voor de CR2011 geen nieuwe berekeningen gedaan. Daarom wordt voor de Oosterschelde gebruik gemaakt van de HR2006. Ook hiervoor waren alle benodigde golfcondities bij toetspeil beschikbaar. Voor de HR2006 is de maatgevende piekperiode T_{pm} gegeven, die bepaald is zoals in Paragraaf 2.1 is beschreven. Voor informatie over de HR2006 kan worden gekeken in het randvoorwaardenboek (HR2006, 2007).

De derde vergelijking is gemaakt met de ontwerp- en toetsrandvoorwaarden van de steenzettingen in Zeeland van het Projectbureau Zeeweringen (PBZ) en de waarden van de CR2011 voor de Westerschelde. Deze vergelijking is gedaan om te zien hoe groot de invloed van de overstap voor de bestaande steenzettingen is. In de ontwerp- en toetsrandvoorwaarden voor de steenzettingen van Zeeland is de T_{pm} of de T_p gegeven. De ontwerp- en toetsrandvoorwaarden die in Zeeland worden gebruikt zijn vastgelegd in de tabel "Golfcondities Westerschelde t.b.v het ontwerpen van dijkbekledingen" van 31 januari 2014 (RHDHV-levering i.o.v. Deltares).

Ondanks de verschillende typen van de gegeven piekperioden (T_p , T_{pm} of T_{ps}) zijn er dezelfde berekeningen mee uitgevoerd. Het wordt verwacht, dat dit geen grote invloed heeft op de conclusies, omdat T_p , T_{ps} en T_{pm} doorgaans ongeveer dezelfde waarde hebben (zie o.m. de memo in Bijlage B, Figuren 4.7 en 4.8).

3 Overzicht berekeningen

Dit hoofdstuk legt uit hoe de berekeningen zijn uitgevoerd om de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ te beoordelen. De eerste paragraaf beschrijft de berekeningen die uitgevoerd zijn voor alle uitgevoerde vergelijkingen. De daarop volgende paragrafen laten de resultaten voor elke vergelijking zien.

3.1 Algemene uitleg berekeningen

Het doel van dit rapport is het onderzoeken van de consequenties, die uit de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ ontstaan voor de berekeningen van de stabiliteit van steenzettingen met het programma Steentoets2014. Daarvoor zijn enkele berekeningen uitgevoerd.

Gezien de beperkte scope van dit onderzoek is ervoor gekozen om de invloed van de golfperiode voor de steenzettingen te schatten aan de hand van een eenvoudige formule die een goede schatting geeft van de stabiliteit van moderne steenzettingen met kleine leklengte. Op deze wijze is het niet nodig om alle eigenschappen van elke steenzetting in elk dijkvak in de berekeningen mee te nemen.

De volgende formule wordt gebruikt om de stabiliteit van een steenzetting te schatten (alleen geldig voor moderne steenzettingen met klemming en kleine leklengte):

$$\frac{H_s}{\Delta D} = \frac{\left(7(\min(\xi_{op}; 2))^{-1/3} + \max(0.5(\min(\xi_{op}; 5) - 2); 0)\right)}{\max((\cos \beta)^{2/3}; 0.4)} \cdot f_{sfront} \quad (3.1)$$

met:

$$f_{sfront} = \max\left(1 - c_1 \cdot \log\left(\frac{N}{1000}\right); c_2\right) \quad (3.2)$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56T_p^2}}} \quad (3.3)$$

- β = Golfvalshoek [°]
- N = Aantal golven [-]
- α = Taludhelling [°]
- H_s = Significante golfhoogte [m]

De coëfficiënten c_1 en c_2 worden op grond van het type steenzetting gekozen. Voor de huidige berekeningen is gekozen voor een steenzetting van het type “zuilen”, omdat dit type vaak wordt gebruikt op Zeeuwse dijken. Voor zuilen geldt: $c_1 = 0,15$ en $c_2 = 0,85$.

Voor de berekeningen zijn als waarden voor het aantal golven en de golfvalshoek $N = 1000$, resp. $\beta = 0^\circ$ aangehouden. Omdat deze waarden in het geval van een vergelijking hetzelfde zijn, is er geen invloed van te verwachten. In het geval van de vergelijking van de ontwerprandvoorwaarden van PBZ met de CR2011 zijn deze waarden verwaarloosd.

Om een vergelijking te kunnen maken, is de $H_s/(\Delta D)$ twee keer berekend. Eén keer met de piekperiode T_p en één keer met de rekenwaarde van $T_{p, \text{reken}}$ zoals die berekend wordt in

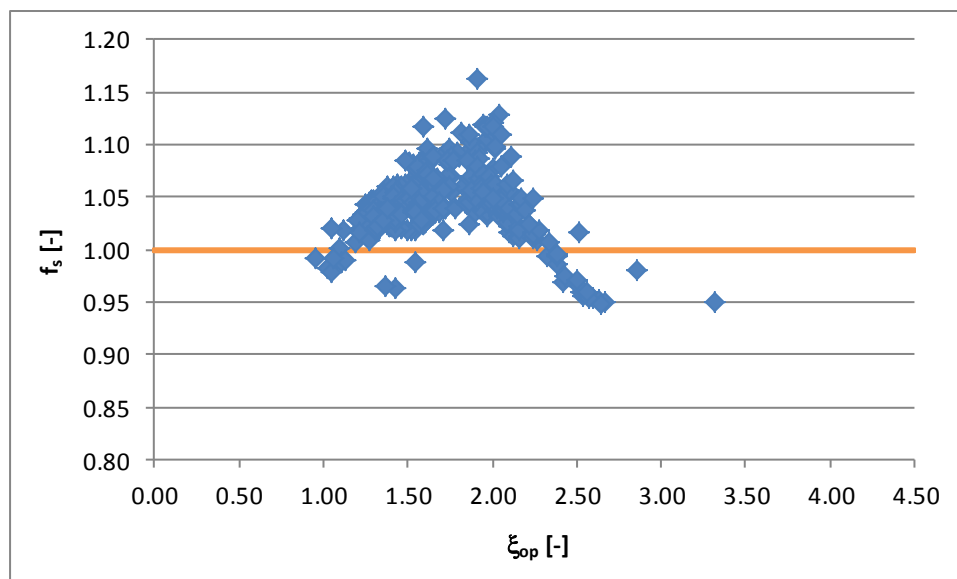
Steenstoets op basis van de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ (zie formule (2.1)). Van de twee bepaalde waarden van $H_s/(\Delta D)$ wordt de verhouding opgesteld en beoordeeld. Deze verhouding is voor het gemak f_s (= factor stabiliteit) genoemd.

3.2 Vergelijking T_p met $T_{m-1,0}$ CR2011 - Westerschelde

Voor de Westerschelde zijn de hydraulische randvoorwaarden van de vierde toetsronde (CR2011) vergeleken. Daarvoor zijn de gegeven T_p en $T_{m-1,0}$ vergeleken. De berekeningen zijn uitgevoerd zoals in voorafgaande paragraaf uitgelegd.

Het resultaat voor elke van de 757 uitvoerpunten is de verhouding (f_s) tussen de $H_s/(\Delta D)$ berekend met de T_p en de $H_s/(\Delta D)$ berekend met de $T_{p, \text{reken}} = 1,084 \cdot T_{m-1,0}$.

In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 zijn de waarden van de verhouding f_s over de brekerparameter ξ_{op} gegeven voor de noord- resp. voor de zuidkant van de Westerschelde. De figuren hebben dezelfde schalen en zijn zo ook makkelijk te vergelijken. Op $f_s = 1$ is een lijn getrokken om de beoordeling te kunnen maken.

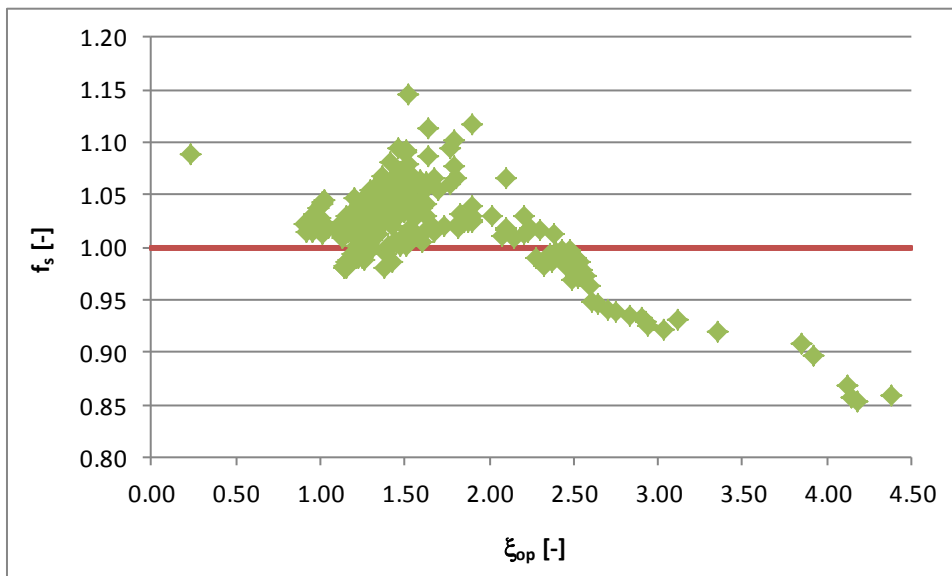


Figuur 3.1 Verhouding f_s voor de CR2011 - Westerschelde Noord

De waarde van de verhouding f_s geeft aan of het gebruik van de $T_{m-1,0}$ een grotere ($f_s > 1$) of een kleinere ($f_s < 1$) stabiliteit oplevert. Daarmee kan de consequentie van de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ worden ingeschat.

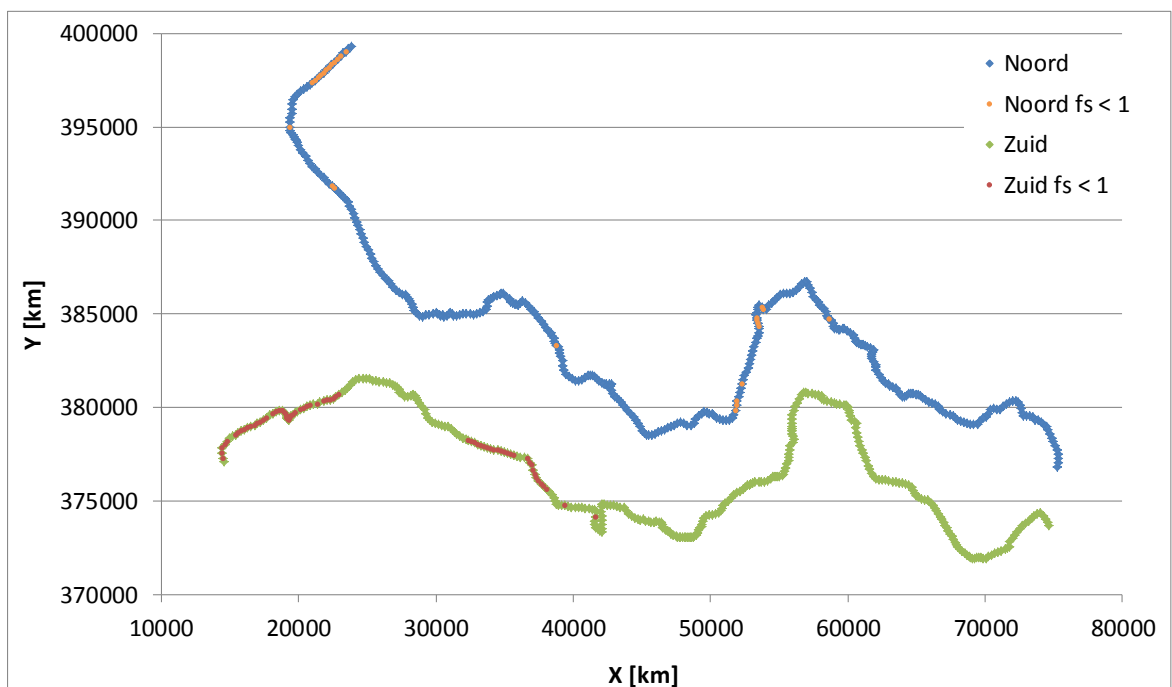
Aan de hand van de resultaten voor de Westerschelde blijkt dat er sommige uitvoerpunten zijn waar de stabiliteit van de steenzetting berekend met de $T_{m-1,0}$ (resp. de $T_{p, \text{reken}}$) kleiner is dan de stabiliteit berekend met de T_p . Vooral voor brekerparameters met een waarde groter dan 2,3 is dit het geval.

Voor de noordkant van de Westerschelde zijn er 7,2% van de uitvoerpunten onder de 1 (zie Figuur 3.1). Bij de zuidkant is het 18,5% (zie Figuur 3.2). Voor de Westerschelde zijn er in totaal 744 uitvoerpunten met beschikbare informatie, waarvan 12,8% een $f_s < 1$ hebben (zie Tabel 3.1).



Figuur 3.2 Verhouding f_s voor de CR2011 - Westerschelde Zuid

Figuur 3.3 toont een overzicht van alle uitvoerpunten langs de Westerschelde. De punten waar een verhouding < 1 is berekend, zijn in een andere kleur gemarkeerd. Het blijkt dat er grote gebieden bij de monding van de Westerschelde zijn, waar geldt $f_s < 1$. Maar er zijn ook enkele kleinere gebieden elders in de Westerschelde.



Figuur 3.3 Overzicht uitvoerpunten voor vergelijking CR2011 - Westerschelde

De verschillen zijn te vinden op locaties waar dit te verwachten is: de monding, waar deining een rol speelt (bepalend voor de $T_{m-1,0}$), en afgeschermd gebied waar lokale golfgroei bepalend is voor de maatgevende omstandigheden, bijv. waar oostenwind dominant is, wat weer sterk bepalend is voor de piekperiode.

Tabel 3.1 Resultaten van de vergelijking CR2011 - Westerschelde

Regio	Aantal punten/ dijkvakken met beschikbare waarden	Aantal van punten/ dijkvakken met $f_s < 1$	Percentage punten/ dijkvakken met $f_s < 1$
noordkant	377	27	7,2%
zuidkant	367	68	18,5%
totaal	744	95	12,8%

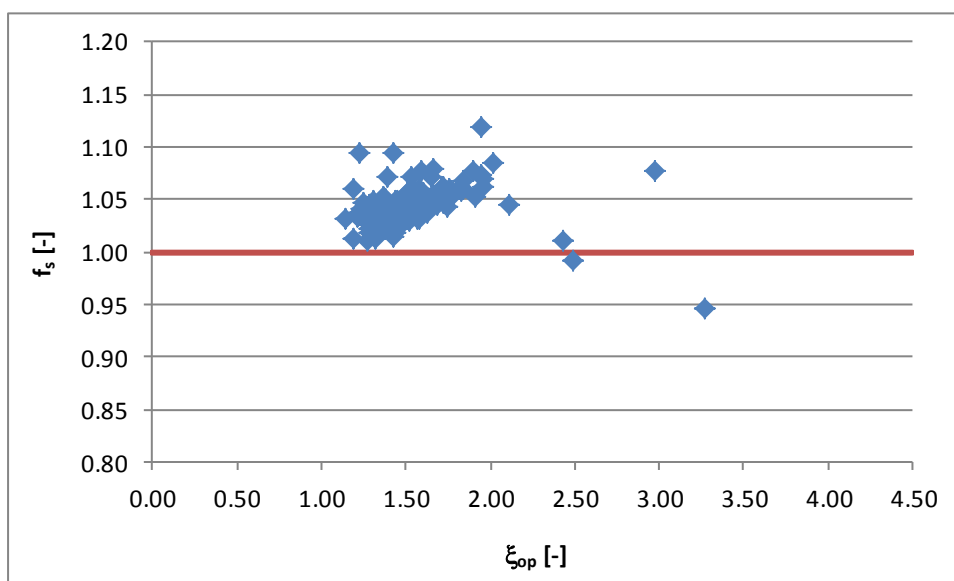
3.3 Vergelijking T_p met $T_{m-1,0}$ HR2006 - Oosterschelde

Zoals in de voorafgaande paragraaf, zijn de berekeningen uitgevoerd voor de Oosterschelde met de beschikbare hydraulische randvoorwaarden van de HR2006. Daarvoor is de verhouding (f_s) tussen de $H_s/(\Delta D)$ berekend met de T_p en de $H_s/(\Delta D)$ berekend met de $T_{p, \text{reken}} = 1,084 \cdot T_{m-1,0}$ bepaald.

In Figuur 3.4 is de verhouding f_s afgebeeld als functie van de brekerparameter ξ_{op} voor de Oosterschelde. Ook hier is de lijn op $f_s = 1$ getekend om de indeling te kunnen zien. Er zijn maar twee uitvoerpunten waarvoor geldt dat $f_s < 1$, dus waar de stabiliteit berekend met $T_{m-1,0}$ kleiner is dan de stabiliteit berekend met T_p . Procentueel zijn er 1,1% van de waarden lager dan 1 (zie Tabel 3.2).

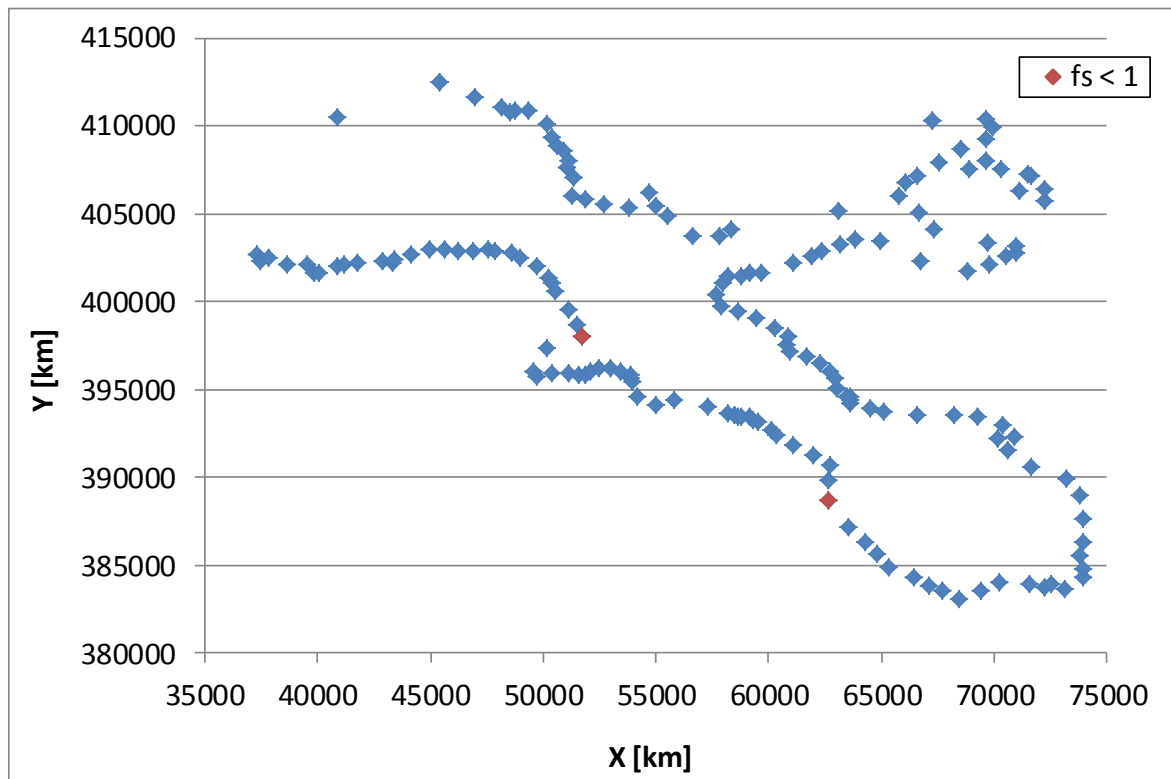
Tabel 3.2 Resultaten van de vergelijking HR2006 - Oosterschelde

Regio	Aantal punten/ dijkvakken met beschikbare waarden	Aantal van punten/ dijkvakken met $f_s < 1$	Percentage punten/ dijkvakken met $f_s < 1$
HR2006 Oosterschelde	176	2	1,1%



Figuur 3.4 Verhouding f_s voor de HR2006 - Oosterschelde

Er is ook een overzicht gegeven over de Oosterschelde (Figuur 3.5).



Figuur 3.5 Overzicht uitvoerpunten voor vergelijking HR2006 - Oosterschelde

3.4 Vergelijking ontwerprandvoorwaarden Zeeland met CR2011 - Westerschelde

Voor het huidige onderzoek zijn er ontwerprandvoorwaarden voor de Westerschelde beschikbaar van PBZ van 31 januari 2014 (zie ook Paragraaf 2.3). In deze ontwerprandvoorwaarden is voor de golfperiode de T_p beschikbaar. Deze is vergeleken met de toetsrandvoorwaarde $T_{m-1,0}$ van de CR2011. De vergelijking geeft aan hoe toekomstige berekeningen met de CR2011 verschillen van de ontwerpberekeningen voor de stabiliteit van steenzettingen. De verschillen zijn niet alleen het gevolg van de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$, maar ook omdat de golfcondities op verschillende manieren bepaald zijn en de uitvoerlocaties iets van elkaar verschillen. Een verschil is bijvoorbeeld dat de CR2011 is opgezet met probabilistische berekeningen, terwijl de ontwerprandvoorwaarden deterministisch bepaald zijn. Ook is de bodemgeometrie geüpdatet.

Het verschil in de uitvoerlocaties zit er met name in dat de uitvoerlocaties van de CR2011 dichter bij de dijk liggen. De ligging van het uitvoerpunt is vooral bepalend voor de piekperiode. De $T_{m-1,0}$ is minder gevoelig voor de niet-lineaire wisselwerkingen die in het laatste stuk naar de dijk toe spelen. De vergelijking tussen de PBZ en CR2011 kan wel beschouwd worden als een vergelijking op de uitvoerlocaties van PBZ, omdat die iets verder van de dijk afliggen.

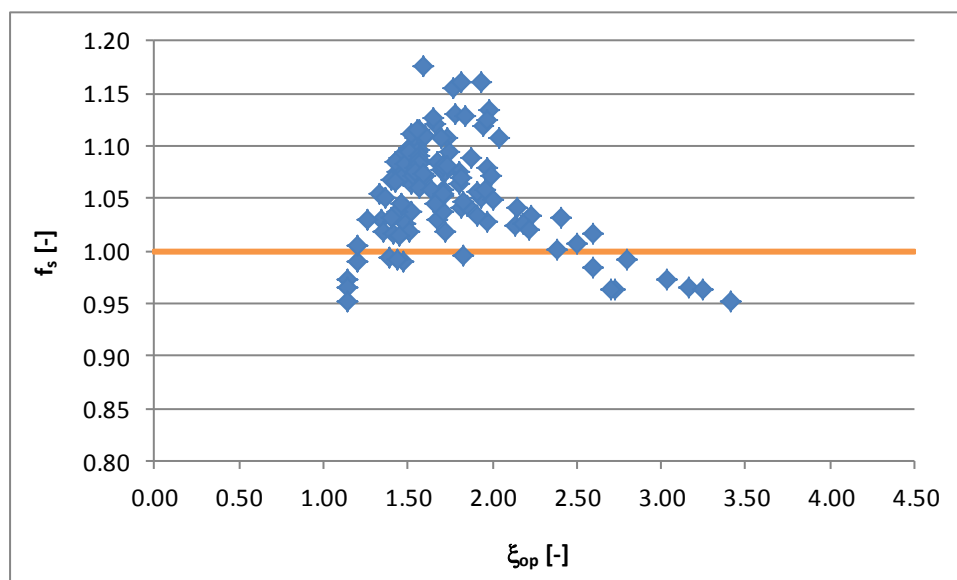
Omdat de ontwerprandvoorwaarden van PBZ per dijkvak beschikbaar zijn, moesten de uitvoerpunten van de CR2011 worden toegewezen aan een dijkvak. Meestal was er meer dan één punt beschikbaar voor een bepaald dijkvak, en is het maatgevende punt gekozen als het punt met de grootste waarde van het product $H_s \cdot T_p$. Daarbij is aangenomen dat een

steen-zetting bezwijkt bij een bepaalde waarde van dit product, onafhankelijk van de waarde van H_s of T_p afzonderlijk. Zo is er voor elke dijkvak een uitvoerpunt van de CR2011 toegewezen, zodat er voor elke dijkvak een vergelijking kan worden gedaan.

De stabiliteit van een steen-zetting is een complex geheel, dat afhankelijk is van de geometrie en het type steen-zetting, waardoor niet altijd $H_s \cdot T_p$ de meest relevante parameter is om de grootte van de belasting mee te karakteriseren. De stabiliteit kan in sommige gevallen afhankelijk zijn van het product $H_s^2 \cdot T_p$ of alleen van de golfhoogte H_s . Daarom is er een aanvullende controle uitgevoerd om te zien of de bepaling van de maatgevende punten afhankelijk is van het gekozen product ($H_s T_p$ of $H_s^2 T_p$ of H_s). Daarvoor zijn de maatgevende waarden ook gekozen op basis van het product $H_s^2 \cdot T_p$ en van H_s . Het blijkt dat de verschillende wijzen van bepalen bijna overal dezelfde maatgevende uitvoerpunten opleveren voor de dijksegmenten. Voor de methode met $H_s^2 \cdot T_p$ worden bij slechts 9% van de dijkvakken een ander uitvoerpunt gekozen en voor de methode met H_s is dat 16%. Het is daarom niet te verwachten dat deze problematiek een grote invloed heeft op de conclusies.

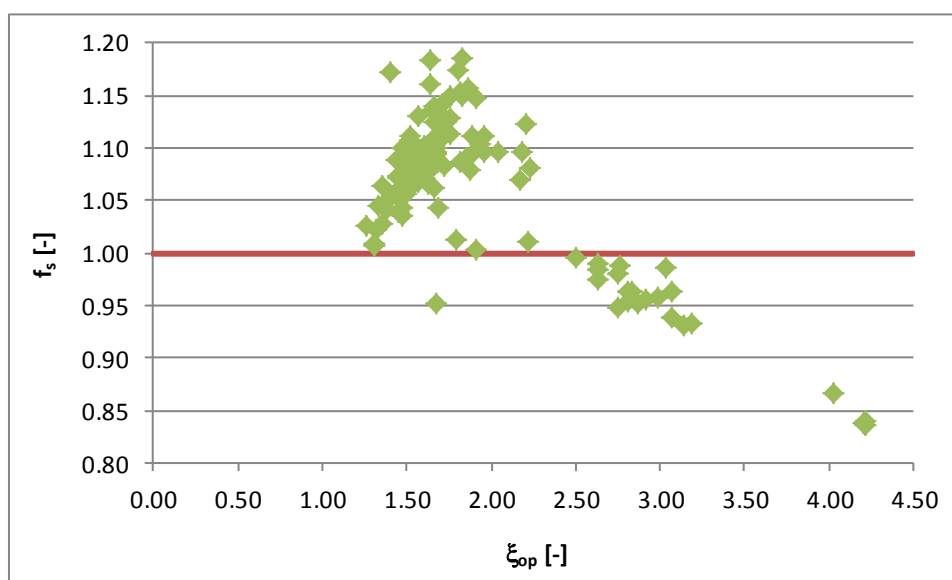
In de ontwerprandvoorwaarden is voor elk dijkvak voor de golfcondities een tabel gegeven, die de waarde bij verschillende waterstanden geeft. Daarmee zijn de golfcondities H_s en T_p berekend voor het toetspeil, dat door het uitvoerpunt van de CR2011 is vastgelegd.

In Figuur 3.6, resp. Figuur 3.7, is de verhouding f_s geplot als functie van de brekerparameter ξ_{op} voor de Westerschelde, opgedeeld in noord- en zuidkant. In beide gevallen zijn er sommige dijkvakken waar de verhouding kleiner is dan 1, wat betekent dat de stabiliteit van de steen-zetting berekend met de $T_{m-1,0}$ kleiner is dan de stabiliteit berekend met de T_p .



Figuur 3.6 Verhouding f_s voor de ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 - Westerschelde Noord

Voor deze vergelijking zijn er aan de noordkant 13,6% van de waarden lager dan 1. Aan de zuidkant zijn er 18,5%. In totaal zijn er voor de Westerschelde 16,1% van de dijkvakken met een f_s lager dan 1 (zie Tabel 3.3).



Figuur 3.7 Verhouding f_s voor de ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 - Westerschelde Zuid

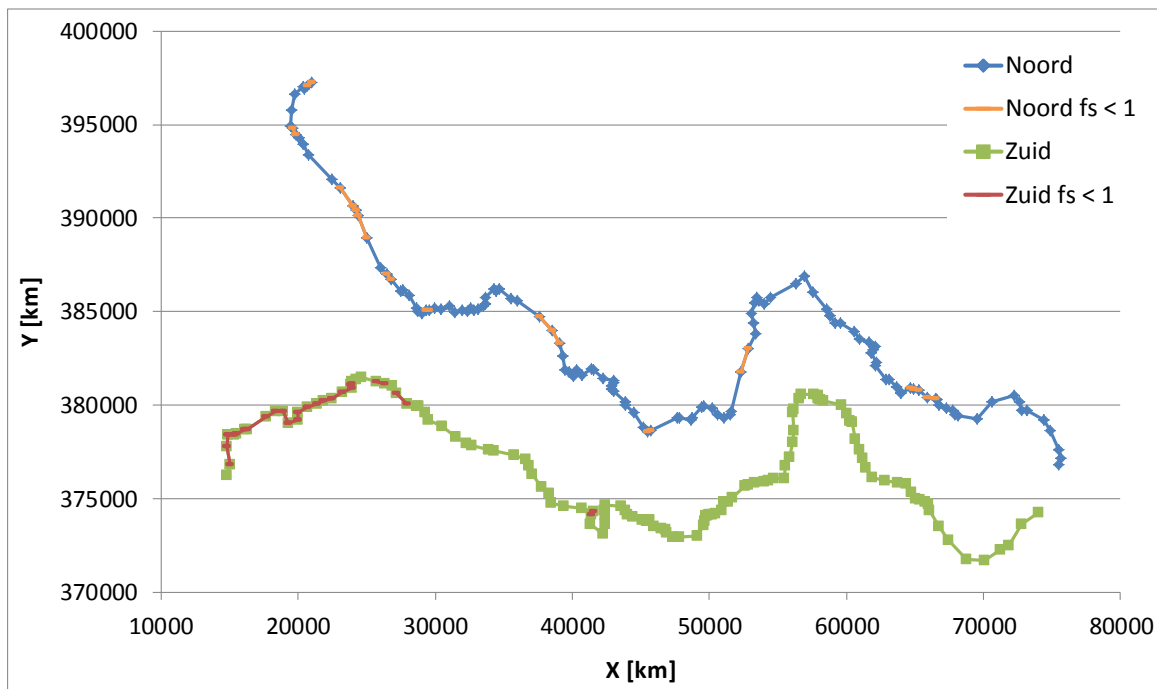
Figuur 3.8 toont het overzicht voor de Westerschelde met de gemarkeerde dijkvakken, waar geldt $f_s < 1$ voor de vergelijking van de ontwerprandvoorwaarden van PBZ en de CR2011. Voor de zuidkant is een groot gebied aan de monding, waar geldt $f_s < 1$. Voor de noordkant is er geen specifieke concentratie van dijkvakken met $f_s < 1$, en zijn ze verspreid over de hele noordelijke Westerschelde.

Tabel 3.3 Resultaten van de vergelijking ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 - Westerschelde

Regio	Aantal punten/ dijkvakken met beschikbare waarden	Aantal van punten/ dijkvakken met $f_s < 1$	Percentage punten/ dijkvakken met $f_s < 1$
noordkant	118	16	13,6%
zuidkant	124	23	18,5%
totaal	242	39	16,1%

Vergeleken met het overzicht van de berekeningen voor de CR2011 (Paragraaf 3.2, Figuur 3.3) betreft het bijna dezelfde gebieden aan de monding van de Westerschelde. Ook de locaties aan de noordkant verder naar binnen komen ongeveer overeen met de locaties van de CR2011 vergelijking. Aan de zuidkant zijn er nu minder locaties, dan bij de vergelijking met de CR2011.

Deze vergelijking was echter tussen twee verschillende bronnen van golfcondities, op een net iets andere locatie, die op verschillende wijze zijn bepaald. Daardoor kunnen de verschillen niet alleen toegeschreven worden aan de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$. Deze resultaten moeten derhalve slechts als indicatie gezien worden.



Figuur 3.8 Overzicht uitvoerpunten voor vergelijking ontwerprandvoorwaarden PBZ met CR2011 – Westerschelde

4 Discussie en conclusies

In dit onderzoek zijn de consequenties onderzocht voor de overstap van piekperiode T_p , (of varianten hiervan) naar de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen met het programma Steentoets2014.

Er zijn verschillende maten om de golfperiode van een onregelmatig golfveld te beschrijven. De gebruikelijkste was tot nu toe de piekperiode T_p voor steenzettingen. Die beschrijft het golfspectrum goed, zolang het maar één piek heeft. Voor dubbeltoppige spectra is de piekperiode geen goede maat om het spectrum eenduidig te beschrijven. Daarvoor is de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ beter geschikt. Daarom wordt voor sommige aspecten van kustwaterbouwwerken al de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ gebruikt (zoals golfoverslag).

Sinds kort kan ook voor de stabiliteitsberekeningen voor steenzettingen met het programma Steentoets2014 de spectrale periode $T_{m-1,0}$ als invoer worden gebruikt. Deze wordt in het rekenhart van het programma naar een rekenwaarde van de piekperiode ($T_{p, \text{reken}}$) omgerekend, zodat de bestaande formules gebruikt kunnen worden die afgeleid zijn op basis van modelonderzoek met proeven met normale enkeltoppige spectra.

Om de consequenties van deze overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ te kunnen inschatten, zijn op basis van drie sets van golfrandvoorwaarden vergelijkende berekeningen uitgevoerd: voor de T_p en $T_{m-1,0}$ van de hydraulische randvoorwaarden CR2011 voor de Westerschelde, voor de T_p en $T_{m-1,0}$ van de HR2006 voor de Oosterschelde en voor de T_p van de ontwerprandvoorwaarden van PBZ gecombineerd met de $T_{m-1,0}$ van de CR2011 voor de Westerschelde. Voor de vergelijking is de stabiliteit van een steenzetting berekend met een vereenvoudigde formule waarmee de invloed van de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ kan worden gekwantificeerd. Daarmee kan direct worden gekeken of de stabiliteit berekend met $T_{m-1,0}$ groter of kleiner wordt.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten van de vergelijking op basis van de drie sets van golfrandvoorwaarden. Voor de CR2011 en de HR2006 zijn de golfcondities op rekenuitvoerpunten gegeven, met meerdere punten per dijkvak. Voor de ontwerprandvoorwaarden van PBZ zijn de condities gegeven per dijkvak. De factor f_s geeft de verhouding tussen de twee berekende stabiliteiten aan. Een $f_s < 1$ betekent dat de stabiliteit van de steenzetting berekend met de spectrale periode $T_{m-1,0}$ (resp. met de $T_{p, \text{reken}}$) kleiner is dan de stabiliteit berekend met de T_p .

Tabel 4.1 Overzicht over alle resultaten van de vergelijkingen tussen T_p en $T_{m-1,0}$

Regio	Aantal punten/ dijkvakken met beschikbare waarden	Aantal van punten/ dijkvakken met $f_s < 1$	Percentage punten/ dijkvakken met $f_s < 1$
CR2011 Westerschelde	744	95	12,8%
HR2006 Oosterschelde	176	2	1,1%
Ontwerprandvoorwaarden PBZ – gecombineerd met CR2011 Westerschelde	242	39	16,1%

Hieruit blijkt dat er sommige uitvoerpunten en dijkvakken zijn, waar de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ tot een lagere berekende stabiliteit van de steenzetting leidt. Bij de vergelijkingen berekend met de CR2011 voor de Westerschelde zijn het ongeveer 13%. Bij de dijkvakken langs de Oosterschelde, berekend met de HR2006, zijn er maar 2 uitvoerpunten met een $f_s < 1$.

Bij de derde case zijn de ontwerprandvoorwaarden vanuit Zeeland vergeleken met de CR2011 voor de Westerschelde. Deze berekeningen leveren een aandeel van ca. 16% van de 242 dijkvakken op met een $f_s < 1$. Deze vergelijking was echter tussen twee verschillende bronnen van golfcondities, die op verschillende locaties en verschillende wijze zijn bepaald. Daardoor kunnen de verschillen niet alleen toegeschreven worden aan de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$. Deze resultaten moeten derhalve slechts als indicatie gezien worden.

Samenvattend kan worden gezegd dat de overstap van T_p naar $T_{m-1,0}$ voor sommige locaties wel consequenties heeft en daar een lagere berekende stabiliteit van steenzettingen oplevert. In de meeste gevallen wordt echter een hogere stabiliteit berekend.

Het huidige onderzoek is echter uitgevoerd met een vereenvoudigde formule voor het bepalen van de stabiliteit van de steenzetting, zonder gebruik te maken van de specifieke eigenschappen van de steenzetting in de dijkvakken. Nader onderzoek van de dijkvakken waar een lagere stabiliteit wordt berekend, kan uitsluitel geven of hier sprake is van een probleem of niet.

5 Referenties

Arnold (2012):

Advies naar aanleiding van studie: 'Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen'.

Royal Haskoning, memo 9V7794.A0/N0001/EARN/NTEK/Rott, concept versie, februari 2012.

HR2006 (2007):

Hydraulische randvoorwaarden primaire waterkeringen - voor de derde toetsronde 2006 - 2011.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.

Gautier, C. en J. Groeneweg (2012):

Achtergrondrapportage HR2011 voor zee en estuaria – WTI HR2011.

Deltares, rapport 1204143-002, maart 2012.

Van Gent, M.R.A. (1999):

Physical model investigations on coastal structures with shallow foreshores; 2D model tests with single and double-peaked wave energy spectra.

Delft Hydraulics rapport H3608, december 1999, Delft.

Van Gent, M.R.A. (2001):

Wave run-up on dikes with shallow foreshores.

Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol.127, No.5, Sept/Oct 2001, pp.254-262.

Van Gent, M.R.A., J.S.M. van Thiel de Vries, E.M. Coeveld, J.H. de Vroeg en J. van de Graaff (2008):

Large-scale dune erosion tests to study the influence of wave periods.

Elsevier, Coastal Engineering, Vol.55, pp.1041-1051.

Klein Breteler, M. (2014):

Documentatie Steentoets2014 - Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen.

Deltares, rapport 1208045-009, februari 2014.

Mourik, G.C. (2012):

Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen.

Deltares, rapport 1204727-005, februari 2012.

Mourik, G.C. en M. Klein Breteler (2013):

Stabiliteit steenzettingen berekenen met spectrale golfperiode i.p.v. piekperiode.

Deltares, rapport 1206426-012, februari 2013.

A Definitie van golfperiodematen

Deze bijlage is overgenomen van het rapport “Stabiliteit steenzettingen berekenen met spectrale golfperiode i.p.v. piekperiode” van Mourik & Klein Breteler (2013):

Deze bijlage geeft een definitie van de golfperiodematen die in deze rapportage genoemd worden.

Spectrale periode $T_{m-1,0}$

De spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ is als volgt gedefinieerd:

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (\text{A.1})$$

Met:

$$m_n = \int f^n E(f) df \quad (\text{A.2})$$

Piekperiode T_p

De piekperiode T_p betreft de golfperiode behorend bij de piekfrequentie f_p van het ongesmoothe (is: niet afgevlakte) golfspectrum. Merk op dat de T_p bij een dubbeltoppig spectrum de piekperiode van òf de ene òf de andere top is. Er geldt:

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (\text{A.3})$$

Smoothed piekperiode T_{ps}

De smoothed piekperiode T_{ps} betreft de golfperiode behorend bij de piekfrequentie f_{ps} van het gesmoothe (is: afgevlakte) golfspectrum. Merk op dat de T_{ps} bij een dubbeltoppig spectrum de piekperiode van òf de ene òf de andere top is. Er geldt:

$$T_{ps} = \frac{1}{f_{ps}} \quad (\text{A.4})$$

Dominante piekperiode T_{pD}

De dominante piekperiode T_{pD} is als volgt gedefinieerd:

$$T_{pD} = \frac{m_0^*}{m_1^*} \quad (\text{A.5})$$

Met:

$$m_n^* = \int_{f_1}^{f_2} f^n E(f) df \quad (\text{A.6})$$

Bij T_{pD} worden de momenten berekend voor het frequentiedomein waarvoor geldt dat de energiedichtheid E groter is dan 80% van de maximale energiedichtheid (van f_1 tot f_2).

Wanneer bij een dubbeltoppig spectrum twee toppen hoger zijn dan 80% van de maximale energiedichtheid, dan worden de frequentiedomeinen van beide toppen in de berekening meegenomen.

Gemiddelde piekperiode T_{pm}

De gemiddelde (mean) piekperiode T_{pm} is als volgt gedefinieerd:

$$T_{pm} = \max(T_{pb}, T_{pbeq}) \quad (A.7)$$

Met:

$$T_{pb} = \frac{m_{-1}^*}{m_0^*} \quad (A.8)$$

waarin:

$$m_n^* = \int_{f_1}^{f_2} f^n E(f) df \quad (A.9)$$

En:

$$T_{pbeq} = \sqrt[4]{T_{pb1}^4 \frac{m_0^{(1)}}{m_0} + T_{pb2}^4 \frac{m_0^{(2)}}{m_0}} \quad (A.10)$$

Bij de blok-piekperiode T_{pb} worden de momenten berekend voor het frequentiedomein waarvoor geldt dat de energiedichtheid E groter is dan 40% van de maximale energiedichtheid (van f_1 tot f_2). Wanneer sprake is van een dubbeltoppig spectrum wordt uitsluitend het frequentiedomein rond de hoogste top in de berekening meegenomen. Het gebied rond laagste top wordt dan niet beschouwd.

Bij het berekenen van de equivalente blok-piekperiode T_{pbeq} wordt bij dubbeltoppige spectra eerst het spectrum verdeeld in twee individuele subspectra. Daarna wordt T_{pbeq} berekend, waarin T_{pb1} en T_{pb2} de blok-piekperiodes zijn van de afzonderlijke subspectra, m_0 het moment van het totale spectrum en $m_0^{(1)}$ en $m_0^{(2)}$ de momenten van de beide subspectra.

B Memo “Advies naar aanleiding van studie: ‘Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen’ ”

In deze bijlage wordt de memo van Arnold (2012) van Royal Haskoning weergegeven. Merk op, dat deze memo verwijst naar “Deltares [ref. 3. en 4.]”, wat concept rapporten waren. De twee rapporten zijn verwerkt in het definitieve rapport van Mourik (2012).

Advies naar aanleiding van studie: 'Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen'

Aan : Yvo Provoost (Projectbureau Zeeweringen)
 Van : Erik Arnold (Royal Haskoning)
 Tweede lezers : Dennis Hordijk (Royal Haskoning), Pol van de Rest (Svasek)
 Datum : 17 februari 2012
 Betreft : 2012.10A Advies naar aanleiding van studie: 'Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen'
 Status : Concept
 Ref. Royal Haskoning : 9V7794.A0/N0001/EARN/NTEK/Rott

1 Achtergrond & vraagstelling

Voor de belasting op dijkbekledingen wordt gewerkt met de piekperiode T_{peak} van het spectrum (de periode behorend bij de piekfrequentie van het energie-dichtheidsspectrum). Bij de bepaling van de piekperiode doen zich in specifieke gebieden een aantal problemen voor. Sommige spectra hebben een brede piek, waardoor de waarde voor de piekperiode soms arbitrair is. Ook komen er in de Oosterschelde spectra met meerdere pieken voor. Dit is vaak het geval als er zowel van de Noordzee binnenkomende deininggolven, als op de Oosterschelde gegenereerde windgolven zijn. In deze situatie zal de piekperiode altijd maar bij één van de aanwezige golfvelden horen. De T_{peak} is dan geen representatieve weergave van het spectrum.

Daarom heeft projectbureau Zeeweringen er in het verleden al voor gekozen [ref. 1] om een andere periodemaat toe te passen als belastingparameter voor steenbekledingen; de maatgevende golfperiode T_{pm} . Deze periodemaat heeft als voordeel boven T_{peak} dat er meer rekening wordt gehouden met de vorm van het spectrum. In het geval van brede of meertoppige spectra geeft de T_{pm} een betere benadering van de 'karakteristieke' periode van het golfspectrum. Voor het toetsen en ontwerpen van dijkbekledingen door projectbureau Zeeweringen, wordt daarom de T_{pm} als 'de piekperiode' gehanteerd.

Het voorliggende advies volgt op de studie 'Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen' uitgevoerd door Deltares [ref. 3 en 4]. Het resultaat van deze studie is een eenvoudige vuistregel waarmee op basis van de T_{peak} en de $T_{m-1,0}$ een representatieve maatgevende golfperiode kan worden bepaald, voor het geval dat T_{peak} sterk afwijkt van $1,1 \cdot T_{m-1,0}$. De opzet is deze representatieve periodemaat ($T_{\text{peak, gecorrigeerd}}$) te gebruiken in plaats van de T_{peak} in formules voor de stabiliteit van steenzettingen. De vuistregel is erop gericht dat wanneer beide periodematen wel een normale verhouding hebben (namelijk $1,0 \cdot T_{m-1,0}$ tot $1,3 \cdot T_{m-1,0}$), $T_{\text{peak, gecorrigeerd}}$ gelijk is aan T_{peak} .

Vuistregel

- | | | |
|--|-----|---|
| 1) Als $T_{\text{peak}} < 0,9 \cdot T_{m-1,0}$ | dan | $T_{\text{peak, gecorrigeerd}} = 1,3 \cdot T_{m-1,0}$ |
| 2) Als $0,9 \cdot T_{m-1,0} \leq T_{\text{peak}} < 1,0 \cdot T_{m-1,0}$ | dan | $T_{\text{peak, gecorrigeerd}} = 4,0 \cdot T_{m-1,0} - 3,0 \cdot T_{\text{peak}}$ |
| 3) Als $1,0 \cdot T_{m-1,0} \leq T_{\text{peak}} \leq 1,3 \cdot T_{m-1,0}$ | dan | $T_{\text{peak, gecorrigeerd}} = T_{\text{peak}}$ |
| 4) Als $1,3 \cdot T_{m-1,0} < T_{\text{peak}}$ | dan | $T_{\text{peak, gecorrigeerd}} = 1,3 \cdot T_{m-1,0}$ |

Om na te gaan in hoeverre toepassing van bovengenoemde vuistregel zou leiden tot andere ontwerpcondities voor de Oosterschelde, zijn T_{peak} , $T_{peak,gecorrigeerd}$ en T_{pm} vergeleken met waarden die volgen op basis van $1,1 \cdot T_{m-1,0}$. Dit is gedaan door zowel de periodemaat T_{peak} , $T_{peak,gecorrigeerd}$, als T_{pm} in grafieken uit te zetten tegen de periodemaat $T_{m-1,0}$ voor alle uitvoerpunten langs de Oosterschelde. Op basis van deze figuren is beoordeeld of de T_{pm} , zoals nu toegepast door projectbureau Zeeweringen, met het oog op de nieuwe vuistregel nog steeds als voldoende robuuste parameter kan worden beschouwd of dat bijstelling (op technische grond) gewenst is.

2 Werkwijze

Bij het ontwerp van steenbekledingen wordt door projectbureau Zeeweringen gebruikt gemaakt van de T_{pm} in plaats van de T_{peak} omdat bij deze periodemaat meer rekening wordt gehouden met de vorm van het spectrum. In het geval van brede of meertoppige spectra geeft de T_{pm} een betere benadering van de 'karakteristieke' periode van het golfspectrum [ref. 1]. In [ref. 3] is de invloed van dubbeltoppige golfspectra onderzocht waarbij net als de T_{pm} , een alternatieve piekperiode ($T_{peak,gecorrigeerd}$) wordt voorgesteld om een arbitraire piekperiode T_{peak} te vervangen.

Om een beeld te krijgen van de onderlinge verhouding tussen de T_{pm} en $T_{peak,gecorrigeerd}$ zijn beide maten vergeleken:

1. door T_{pm} , T_{peak} en $T_{peak,gecorrigeerd}$ tegen de $T_{m-1,0}$ uit te zetten in een grafiek;
2. door T_{peak} , en $T_{peak,gecorrigeerd}$ direct tegen T_{pm} uit te zetten in een grafiek.

Op basis van deze figuren is beoordeeld of de T_{pm} , zoals nu toegepast door projectbureau Zeeweringen, met het oog op de nieuwe vuistregel nog steeds als voldoende robuuste parameter kan worden beschouwd of dat bijstelling (op technische grond) gewenst is.

3 Uitgangspunten en aannamen

Hieronder zijn de belangrijkste uitgangspunten opgesomd die gelden voor dit advies:

- In deze notitie zijn de periodematen (T_{pm} , T_{peak} , $T_{peak,gecorrigeerd}$, $T_{m-1,0}$) met elkaar vergeleken voor alle uitvoerpunten langs de Oosterschelde (1 t/m 959), voor vier waterstanden (NAP 0m, +2m, +3m en +4m), bij drie veel voorkomende windrichtingen (240, 270 en 300 graden) en één minder vaak voorkomende windrichting (90 graden) tijdens storm. De windrichting 90 graden is bekeken om na te gaan of deze minder vaak voorkomende windrichting een zelfde beeld oplevert.
- Bij het vergelijken van de periodematen zijn ook de maatgevende golfcondities weergegeven, bepaald volgens de methodiek van projectbureau Zeeweringen voor het bekledingstype betonzuilen [ref. 5 en 6]. De maatgevende golfcondities zijn weergegeven omdat deze golfcondities worden gebruikt bij het ontwerp. Er is gekozen voor bekledingstype betonzuilen omdat deze relatief veel toegepast wordt langs de Oosterschelde.
- Bij de vergelijking van periodematen is gebruik gemaakt van oorspronkelijke SWAN-berekeningen [ref. 1 en 2] uitgevoerd voor het ontwerp van de dijkbekleding langs de Oosterschelde, zonder gebruik te maken van correctiefactoren. Er is geen gebruik gemaakt van correctiefactoren omdat voor de T_{peak} geen correctiewaarden zijn opgesteld. Daarnaast zijn bij het toepassen van correctiewaarden de periodematen niet altijd goed vergelijkbaar meer, omdat op de verschillende periodematen (bijvoorbeeld T_{pm} , $T_{m-1,0}$) verschillende correctiewaarden van toepassing (kunnen) zijn.
- Tijdens de analyse was de 'nieuwe' aangepaste vuistregel van Deltares [ref. 4] nog niet beschikbaar. Daarom is bij het bepalen van $T_{peak,gecorrigeerd}$ nog gebruik gemaakt van de 'oude' vuistregel. De 'nieuwe' vuistregel is uitsluitend uitgebreid voor het geval dat $T_{peak}/T_{m-1,0}$ beduidend kleiner is dan 1,1. Voor de Oosterschelde is de verhouding niet beduidend kleiner

dan 1,1 en geldt dat de verhouding tussen $T_{\text{peak}}/T_{m-1,0}$ vooral groter is dan 1,1 (zie figuur 4.5). De tussentijdse aanpassing van de vuistregel heeft daarom geen noemenswaardige gevolgen voor de conclusies van deze notitie.

Oude vuistregel

$$T_{\text{peak,gecorrigeerd}} = \max (0,9 \cdot T_{m-1,0} ; \min (1,3 \cdot T_{m-1,0} ; T_{\text{peak}}))$$

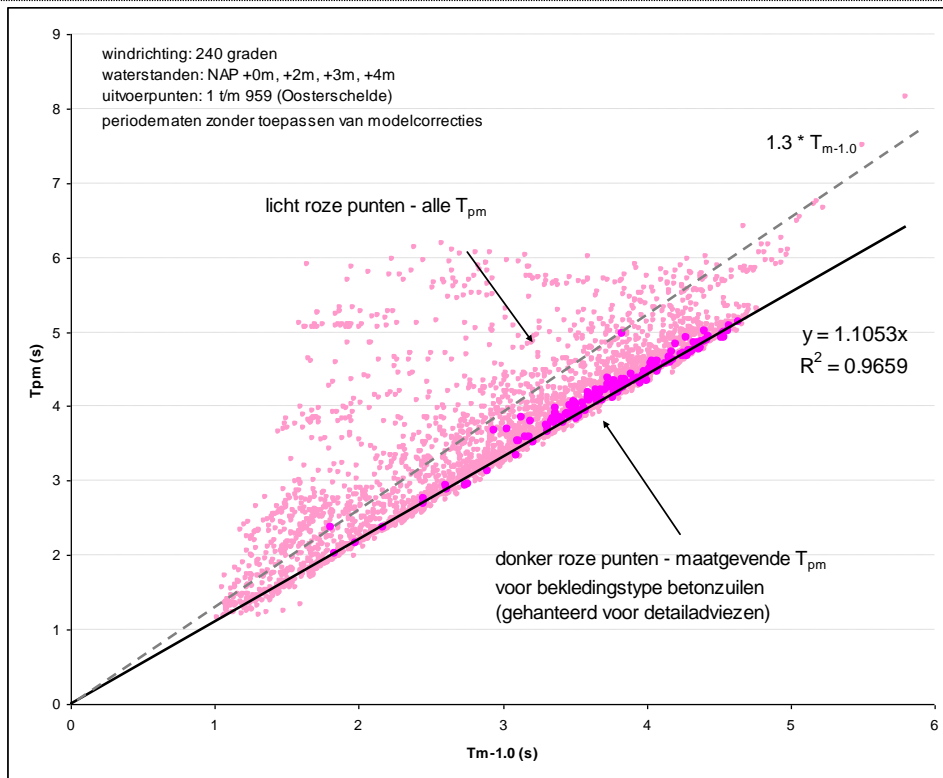
4 Analyse periodematen

Verhouding periodematen T_{pm} en $T_{m-1,0}$

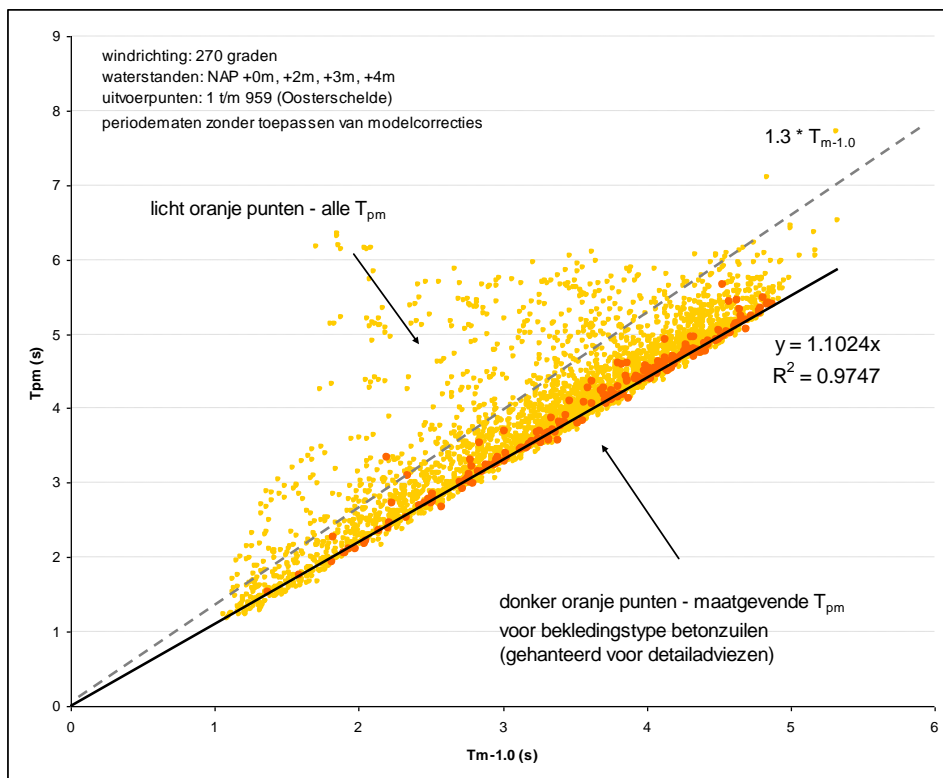
In de figuren 4.1 t/m 4.4 is voor alle dijkvakken langs de Oosterschelde de periodemaat: T_{pm} uitgezet tegen de periodemaat $T_{m-1,0}$. Voor de windrichtingen 240, 270 300 en 90 graden zijn afzonderlijke figuren gemaakt.

In figuur 4.1 zijn de golfcondities op de Oosterschelde gegeven voor de windrichting 240 graden. De licht roze puntenwolk geeft de golfcondities weer voor vier verschillende waterstanden (NAP +0m, +2m, +3m en +4m) op alle uitvoerpunten langs de Oosterschelde (959 uitvoerpunten). Het zwaartepunt van de licht roze puntenwolk ligt op de lijn $1,1 \cdot T_{m-1,0}$ met uitschieters naar boven. De aangegeven windrichting is uiteraard niet voor alle uitvoerlocaties (en waterstanden) de maatgevende windrichting. Om de puntenwolk meer toe te spitsen op de door projectbureau Zeeweringen gehanteerde ontwerpcondities, zijn de daadwerkelijk (voor bekledingstype betonzuilen) maatgevende waarden vet gemarkeerd. De selectie is uitgevoerd conform de standaardmethodiek van projectbureau Zeeweringen [ref. 5 en 6]. De donkerroze punten, die dus een deelsselectie zijn van de lichtroze punten, liggen dicht op de lijn $1,1 \cdot T_{m-1,0}$.

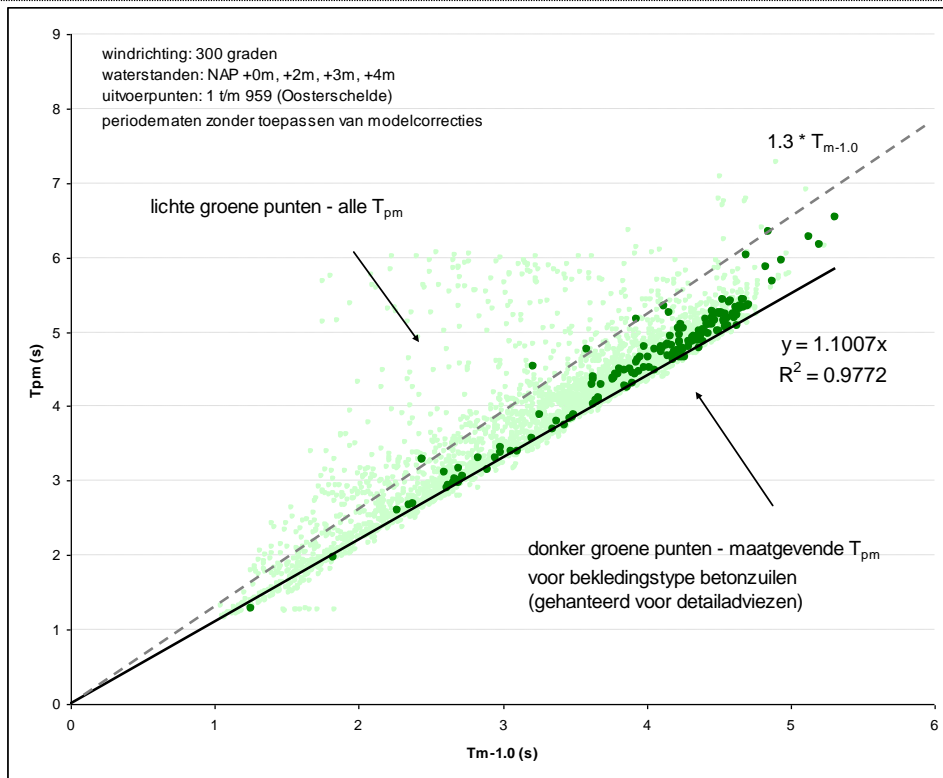
De overige drie figuren zijn op dezelfde wijze opgezet en tonen een vergelijkbaar beeld. De maatgevende T_{pm} 's voor bekledingstype betonzuilen (vet gemarkeerd) voor de windrichtingen 240, 270, 300 en 90 vertonen weinig spreiding. Een enkele keer komt de T_{pm} boven de $1,3 \cdot T_{m-1,0}$ waarde uit. De periodematen T_{pm} en $T_{m-1,0}$ hebben een normale verhouding zonder grote uitschieters.



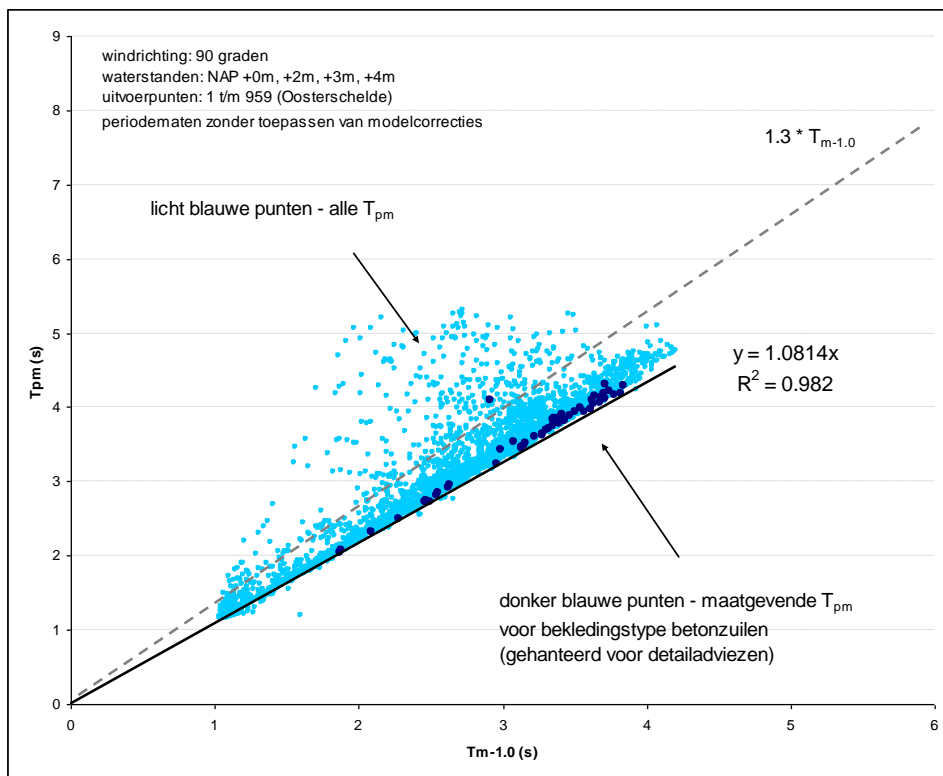
Figuur 4.1: T_{pm} uitgezet tegen $T_{m-1.0}$ voor de windrichting 240 graden



Figuur 4.2: T_{pm} uitgezet tegen $T_{m-1.0}$ voor de windrichting 270 graden



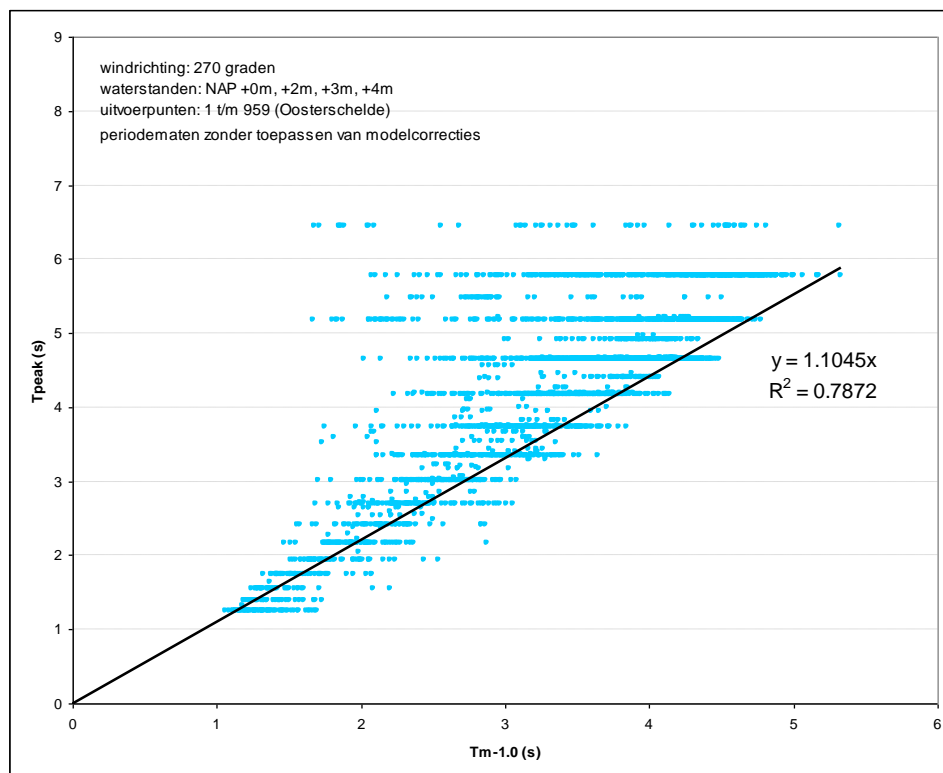
Figuur 4.3: T_{pm} uitgezet tegen $T_{m-1.0}$ voor de windrichting 300 graden



Figuur 4.4: T_{pm} uitgezet tegen $T_{m-1.0}$ voor de windrichting 90 graden

Verhouding periodematen T_{peak} en $T_{m-1,0}$

In figuur 4.5 is de periodemaat T_{peak} uitgezet tegen de periodemaat $T_{m-1,0}$ voor de windrichting 270 graden. De T_{peak} blijkt in veel gevallen sterk af te wijken van $1,1 \cdot T_{m-1,0}$. Dit komt omdat op de Oosterschelde spectra voorkomen met meertoppige spectra waardoor de waarde voor de piekperiode soms arbitrair is. In deze situatie zal de piekperiode altijd maar bij één van de aanwezige pieken in het spectrum horen en daardoor niet altijd een representatieve weergave van het gehele spectrum zijn. De T_{peak} vertoont een stapsgewijs verloop omdat het golfgroeimodel SWAN de golfspectra berekent in frequentiebandjes. Alle berekende spectrapieken die in hetzelfde frequentiebandje vallen krijgen dezelfde T_{peak} .

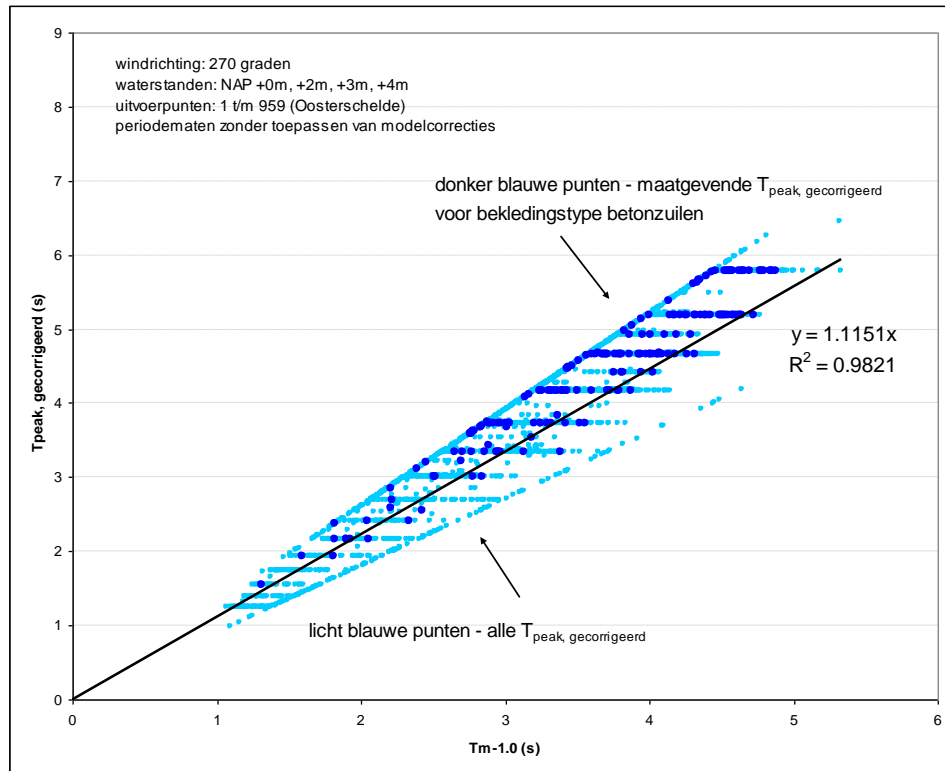


Figuur 4.5: T_{peak} uitgezet tegen $T_{m-1,0}$ voor de windrichting 270 graden

Verhouding periodematen $T_{peak, gecorrigeerd}$ en $T_{m-1,0}$

In figuur 4.6 is voor de windrichting 270 graden de $T_{peak, gecorrigeerd}$ uitgezet tegen de periodemaat $T_{m-1,0}$ voor alle uitvoerpunten langs de Oosterschelde, zie licht blauwe puntenwolk. Bij het bepalen van de $T_{peak, gecorrigeerd}$ is nog gebruik gemaakt van de 'oude' vuistregel van Deltares [ref. 3]. In figuur 4.6 is duidelijk te zien dat voor veel punten er geen normale verhouding bestaat tussen T_{peak} en $T_{m-1,0}$ (veel punten vallen buiten de grenzen $0,9 \cdot T_{m-1,0}$ tot $1,3 \cdot T_{m-1,0}$) en daarom zijn relatief veel T_{peak} 's naar beneden of naar boven bijgesteld volgens de vuistregel van Deltares, hier $T_{peak, gecorrigeerd}$ genoemd.

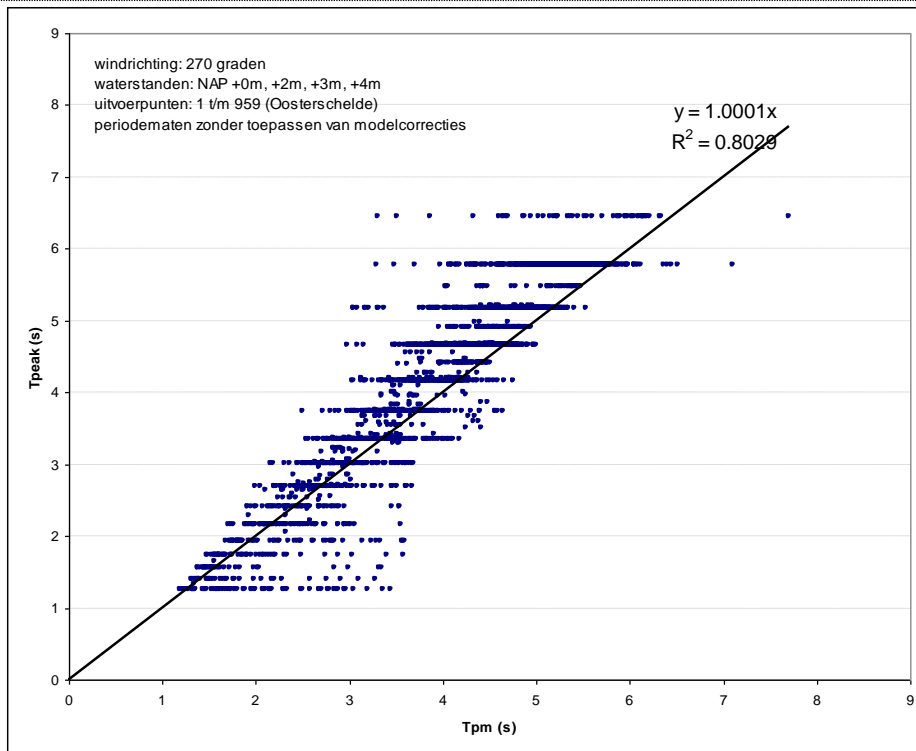
In figuur 4.6 zijn in het donker blauw de maatgevende golfcondities geplot voor de windrichting 270 graden voor bekledingstype betonzulen. De maatgevende golfcondities zijn bepaald volgens de procedure van projectbureau Zeeweringen door $T_{peak, gecorrigeerd}$ en H_s in te vullen in belastingfunctie voor betonzulen [ref. 5 en 6]. In de figuur zijn de maatgevende $T_{peak, gecorrigeerd}$'s te zien voor de dijkvakken langs de Oosterschelde waarvoor de windrichting 270 graden maatgevend is met de daarbij horende $T_{m-1,0}$ (voor dezelfde uitvoerpunt, waterstand en windrichting). De donker blauwe punten laten wat spreiding zien ten opzichte van de lijn $1,1 \cdot T_{m-1,0}$.



Figuur 4.6: $T_{peak, gecorrigeerd}$ uitgezet tegen $T_{m-1.0}$ voor de windrichting 270 graden

Verhouding periodematen T_{peak} en T_{pm}

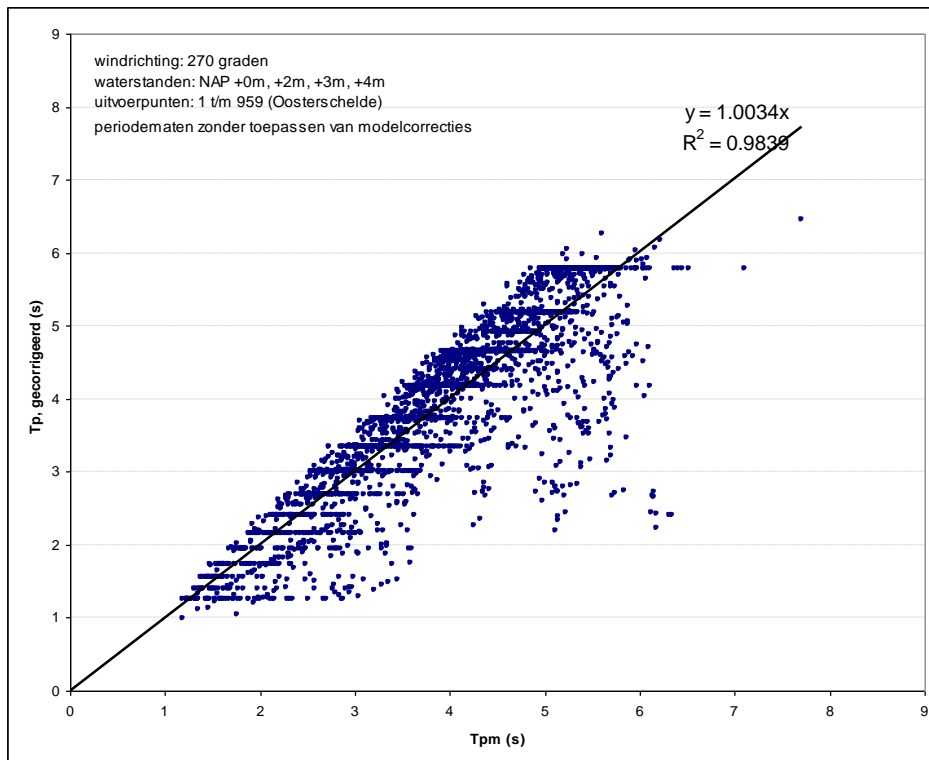
In figuur 4.7 zijn de T_{pm} en T_{peak} tegen elkaar uitgezet. Wanneer een lijn wordt getrokken door het zwaartepunt van de puntenwolk dan blijken de periodematen een verhouding te hebben van 1 met een flinke spreiding. Deze figuur bevestigt de onbetrouwbaarheid van T_{peak} .



Figuur 4.7: T_{peak} uitgezet tegen T_{pm} voor de windrichting 270 graden

Verhouding periodematen $T_{peak,gecorrigeerd}$ en T_{pm}

Wanneer de T_{peak} wordt gecorrigeerd volgens de 'oude' vuistregel van Deltares [ref. 3] dan wordt de spreiding verkleind omdat arbitraire golfperioden zijn bijgesteld.



Figuur 4.8: $T_{peak,gecorrigeerd}$ uitgezet tegen T_{pm} voor de windrichting 270 graden

4 Conclusies en aanbevelingen

In Deltares [ref. 3 en 4] is aangetoond dat de T_{peak} een onbetrouwbare periodemaat is voor de Oosterschelde en is een vuistregel opgenomen voor de bepaling van een stabielere maat, namelijk de $T_{peak, gecorrigeerd}$. Bij het ontwerp van steenbekledingen wordt door projectbureau Zeeweringen echter al rekening gehouden met de invloed van meertoppige spectra op de periodemaat door gebruik te maken van de T_{pm} in plaats van de T_{peak} . De uitgevoerde analyse laat zien dat de T_{pm} een normale verhouding heeft met de $T_{m-1.0}$ ($T_{pm} \approx 1.1 \cdot T_{m-1.0}$) en vertoont bovendien voor de toegepaste (maatgevende) golfcondities weinig spreiding. Dit bevestigt de stabiliteit van de T_{pm} .

Hoewel de aangepaste T_{peak} op basis van de 'oude' vuistregel van Deltares ($T_{peak, gecorrigeerd}$) een betere verhouding oplevert met de $T_{m-1.0}$ dan de ongecorrigeerde T_{peak} bij meertoppige golfspectra, levert het geen verbetering op ten opzichte van de nu toegepaste T_{pm} . Geadviseerd wordt daarom gebruik te blijven maken van de huidige periodemaat (T_{pm}) voor het ontwerp van steenbekledingen.

Referenties

- [1.] Kamsteeg, A.T. et al: 'Golfberekeningen Oosterschelde', RIKZ/2001.006
- [2.] Alkyon: 'Update golfcondities RAND2001 beïnvloedingsgebied OS-kering, Herberekening westelijke winden', d.d. augustus 2005, Alkyonrapport
- [3.] Deltares: 'Invloed van dubbeltoppige golfspectra op de stabiliteit van steenzettingen (concept)', kenmerk: 1204727-005-HYE-0001, d.d. november 2011
- [4.] Deltares: 'Aanpassing vuistregel $T_{p,r}$ ', d.d. 22 december 2011.
- [5.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: 'Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 1B van 3: Checklist detailadviezen', d.d. 23 februari 2011.
- [6.] Svašek Hydraulics en Royal Haskoning: 'Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen; Deel 2 van 3: Achtergrond detailadviezen', d.d. 23 februari 2011.

Figuren: aangepaste fits T_{pm}

