



Memo

Aan
RWS WV

Datum
30 juni 2014

Kenmerk
1209433-006-HYE-0001

Aantal pagina's
11

Van
Joost Beckers

Doorkiesnummer
+31 (0)88 33 58 336

E-mail
joost.beckers@deltares.nl

Onderwerp
Seiches in WTI2017

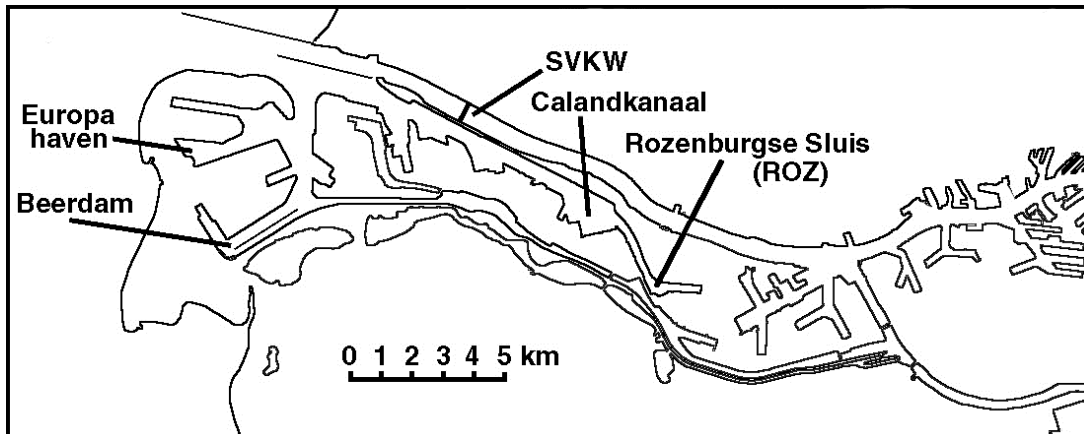
Het Wettelijk ToetsInstrumentarium (WTI) wordt gebruikt voor de toetsing van primaire waterkeringen in Nederland. Voor de editie 2017 wordt nieuwe software ontwikkeld die de factoren die de kans op een overstroming bepalen meer in samenhang beschouwt. De verschillende belastingen op een dijklichaam en de mogelijke faalmechanismen worden in één probabilistische berekening meegenomen. Eén van de factoren die de belasting op de dijken in het Europoortgebied kan vergroten is seiches. Dit memo beschrijft het fenomeen seiches en hoe het effect ervan in WTI2017 kan worden meegenomen.

Uiteindelijk worden drie alternatieven beschreven om het effect van seiches mee te nemen, waarvan er één als voorkeursalternatief is aangemerkt. De alternatieven zijn voorgelegd aan cluster C om een inschatting te maken van de haalbaarheid van de drie alternatieven voor implementatie in Hydra-Ring. Afhankelijk van het te kiezen alternatief zullen aanvullende activiteiten moeten worden uitgevoerd. Deze zijn in dit memo genoemd, de resultaten zijn uiteraard nog niet beschikbaar.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
Draft	juni 2014	J. Beckers		F. Diemanse		M. van Gent	
Final	juni 2014	J. Beckers	<i>b/r</i>	F. Diemanse	<i>FD</i>	M. van Gent	<i>cb</i>

1 Inleiding

Een seiche is een resonante slingering van de watermassa in een (half) afgesloten bekken, zoals een haven (de Jong, 2004). Seiches worden opgewekt door periodieke meteorologische verschijnselen, zoals buistoten die toevalligerwijs samenvallen met een eigenperiode van de watermassa. Die eigenperiode hangt af van de lengte en diepte van de bekkens. In het Europoortgebied (Figuur 1.1) komen voornamelijk seiches voor met een eigenperiode van ongeveer 90 minuten (in het Calandkanaal) en 50 minuten (in de Europahaven).



Figuur 1.1 Europoortgebied

De seiches veroorzaken kortstondige verhogingen (en verlagingen) van de waterstand. Dit kan gevaar opleveren voor de stabiliteit van keringen. In het huidige Wettelijke Toetsinstrumentarium (WTI) wordt het effect van seiches meegenomen als een toeslag op de maximale waterstand waartegen de keringen bestand dienen te zijn. Deze waterstand is onderdeel van de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) voor de toetsing van keringen.

In het huidige WTI wordt alleen in het Europoort gebied een seiche-toeslag toegepast. Ook in andere gebieden (IJmuiden, IJsselmeer, Dollard) kunnen seiche-achtige verschijnselen optreden. De amplitudes zijn echter kleiner en de periodiciteit van het signaal is minder duidelijk. Voor IJmuiden zijn recent berekeningen uitgevoerd analoog aan die voor Europoort, ten behoeve van een (her)ontwerp van de sluisen. Gezien de vergelijkbare geografische ligging van Europoort en IJmuiden mag worden aangenomen dat de seiche-opwekkende mechanismen in beide gebieden vergelijkbaar zijn. Voor andere gebieden (IJsselmeer, Dollard) is dit zeker niet het geval. Als voor deze gebieden een seiche-toeslag moet worden bepaald is een andere aanpak nodig.

De toeslagen worden gebaseerd op de methode de Looff (1994). De kans op vóórkomen van een seiche met een bepaalde amplitude is daarin afgeleid van metingen bij het referentiepunt Rozenburgse Sluis (ROZ). Vervolgens wordt een vertaalslag gemaakt van deze statistiek naar andere locaties in het gebied door gebruik te maken van zogenaamde translatiefactoren, waarin tegelijkertijd het dempende effect van onderlopende kades wordt meegenomen. Deze twee stappen resulteren in een set van toeslagen op de maatgevende waterstand in de HR op de locaties in het Europoortgebied. In de 2006 en 2011 versies van het WTI zijn de toeslagen vastgesteld voor de normfrequenties van de dijkeringen die grenzen aan Europoort en deterministisch verwerkt in Hydra-Zoet. De normfrequenties voor dijkeringen in de Europoort zijn 1/4.000 en 1/10.000 per jaar.

Voor WTI2017 wordt een nieuw instrument Hydra-Ring ontwikkeld dat overstromingskansen van dijkeringen berekent. Een veelvoud aan mogelijke hydraulische belastingscenario's met bijbehorende kansen en meerdere mogelijke faalmechanismen van de kering worden in samenhang beschouwd in één probabilistische berekening. Uiteindelijk is het de bedoeling om ook niet-stationaire events en bijbehorende faalmechanismen te modelleren. Echter, voor het zover is wordt er voor 2017 een instrumentarium ontwikkeld dat nog gedeeltelijk terug zal vallen op methoden en technieken uit het huidige WTI. Voor de seiches betekent dit dat het

effect verwerkt zal worden in een toeslag op de maximale waterstand. Wel kunnen de modelonzekerheden die spelen bij het bepalen van de seiches-toeslag beter verdisconteerd worden in de geschatte overstromingskans.

Het tijdsafhankelijke effect van de seiches wordt in WTI2017 niet in beschouwing genomen. Het verdient aanbeveling om dit in toekomstige versies van Hydra-Ring wel te doen omdat dit tot extra bijdragen aan de faalkans kan leiden. Voor dijken kan een snelle daling van de waterstand na een maximum als gevolg van een seiche een extra risico betekenen. Door het wegvallen van de tegendruk kan het verzadigde buitentalud afschuiven¹.

Doel van dit memo is de mogelijkheden te schetsen om het effect van seiches mee te nemen in WTI2017. Daarvoor wordt eerst in het volgende hoofdstuk beschreven hoe het seiches effect in het huidige WTI wordt berekend. Modelonzekerheden spelen een belangrijke rol in WTI2017. Hoofdstuk 3 gaat in op deze modelonzekerheden bij het bepalen van het seiches effect. In het laatste hoofdstuk worden drie opties beschreven om het seiches effect mee te nemen in WTI2017. Het hoofdstuk besluit met enkele aanbevelingen.

2 Methode WTI2011

2.1 Methode op hoofdlijnen

De methode zoals gebruikt in WTI2006/2011 om een seiche-toeslag op de waterstand te berekenen bestaat uit de volgende stappen:

- 1 Bepalen van het netto seiche-effect per stormgebeurtenis
- 2 Bepalen van de statistiek van maximale waterstanden met en zonder seiche-effecten
- 3 De vertaling van het seiche-effect bij locatie Rozenburgse Sluis (ROZ) naar ander HR locaties
- 4 Het bepalen van de seiche-toeslagen bij de wettelijke toetsfrequenties

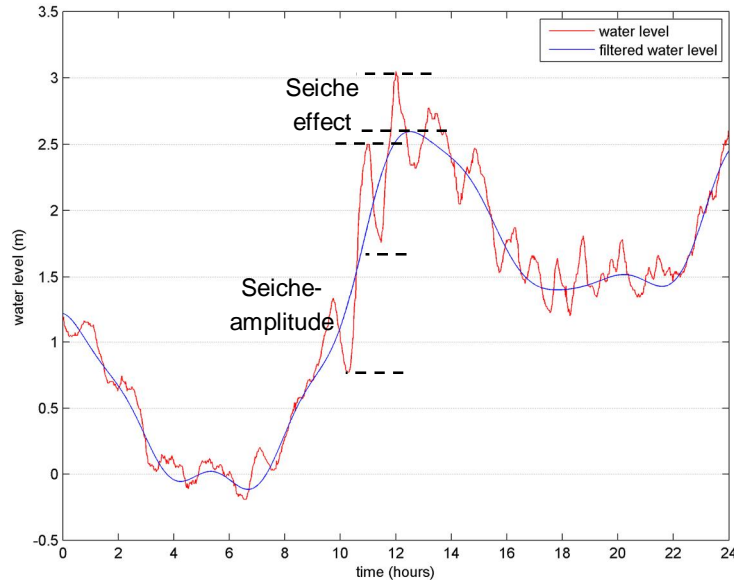
Deze stappen worden hieronder in detail beschreven.

2.1.1 Netto seiche-effect

Voor elke stormgebeurtenis waarbij een hoge waterstand optreedt wordt het netto seiche-effect gemeten (zie Figuur 2.1). Dit gebeurt met behulp van een zogenaamd low-pass filter dat de korte variaties in de waterstand (door seiches) scheidt van de langzame variaties (door getij en opzet). Van beide signalen wordt het maximum genomen zodat per storm een gecombineerde meting van maximale waterstand en seiche-effect wordt verkregen. De procedure is uitgebreid beschreven in Deltares (2010a).

De huidige analyse is gericht op het effect van seiches op de maximale waterstand, relevant voor faalmechanismen als golfoverslag en overloop. Daarom wordt het netto seiche-effect gemeten en niet de maximale seiche amplitude (zie Figuur 2.1). Voor andere faalmechanismen, zoals voor negatief verval bij de Maeslantkering of afschuiven van het buitentalud van een dijklichaam, is de maximale seiche amplitude wel van belang en dient een andere statistische analyse te worden gevolgd.

¹ zie bijvoorbeeld <http://www.youtube.com/watch?v=RmiC3Pz mh-I&feature=youtu.be>

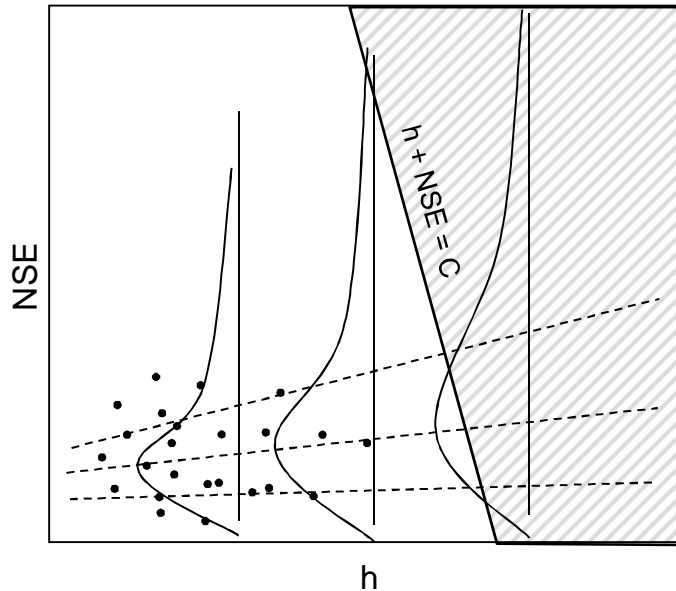


Figuur 2.1 Definitie van seiche-amplitude en netto seiche effect. Uit Deltares (2010a)

2.1.2 Effect op de waterstandstatistiek

De gecombineerde metingen van waterstanden en seiche-effect vormen de basis voor een tweedimensionale kansverdeling van opzet en seiche-amplitude. Er worden functies gefit aan de metingen zodat een schatting gemaakt kan worden van het seiche-effect bij waterstanden die hoger liggen dan de hoogste meting. Voor de maximale waterstanden wordt een functie gebruikt die overeenkomt met de marginale kansverdeling van waterstanden bij Hoek van Holland. Deze verdeling wordt 0.20 m verhoogd om het verschil in (extreme) waterstand tussen HvH en ROZ te verdisconteren.

De tweedimensionale kansverdeling van netto seiche-effect (NSE) en waterstand (h) wordt opgezet als een conditionele kansverdeling. De kans op een NSE wordt hierin beschreven als een Gamma kansverdeling, waarbij de verwachtingswaarde en de spreiding toenemen bij hogere waterstanden (zie Figuur 2.2).

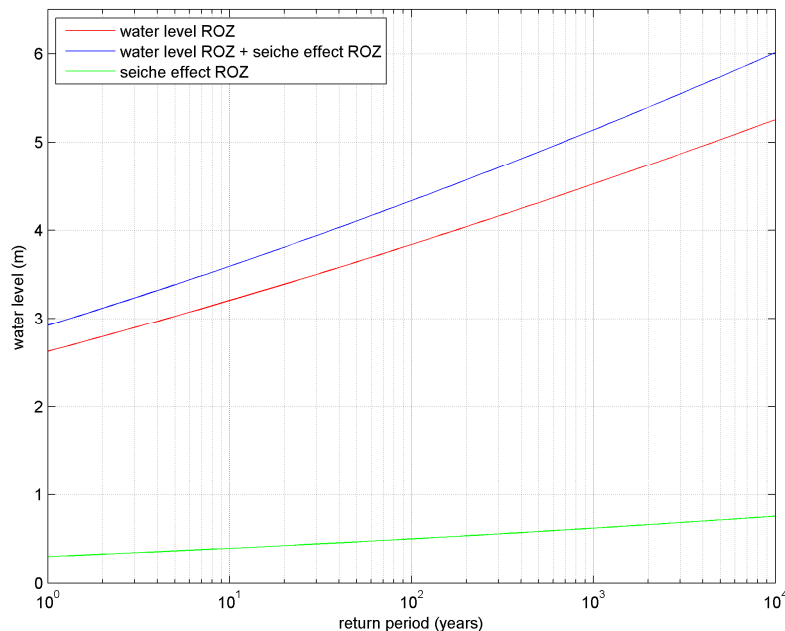


Figuur 2.2 *Conditionele kansverdeling van het netto seiche-effect (NSE), afhankelijk van de waterstand h. De overschrijdingskans van de som van waterstand en NSE voor de waarde C wordt berekend door de kansdichtheid boven de lijn 'waterstand + NSE = C' te integreren (het gearceerde gebied).*

Uit de tweedimensionale kansverdeling van waterstand en seiche effect wordt een kansverdeling van de waterstand plus het seiche effect berekend. De overschrijdingskans voor een waarde C wordt berekend als de integraal over de kansdichtheid boven de lijn 'h + NSE = C' (zie Figuur 2.2). In formulevorm:

$$P(h + NSE > H) = \iint P(h)P(NSE|h)I(h + NSE > H)dh dNSE \quad (1.1)$$

Het resultaat, de kansverdeling van deze som, is weergegeven in Figuur 2.3. In dit figuur is ook waterstandstatistiek zonder het seiche-effect weergegeven. Het verschil tussen beide kansverdelingen is de verhoging van de statistiek als gevolg van het seiche-effect. Deze verschilkansverdeling wordt gebruikt om de toeslag op de HR te berekenen. NB het effect van onderlopen van kades is in dit netto seiche-effect nog niet verdisconteerd. Dat gebeurt in de volgende stap (vertaling naar HR locaties).

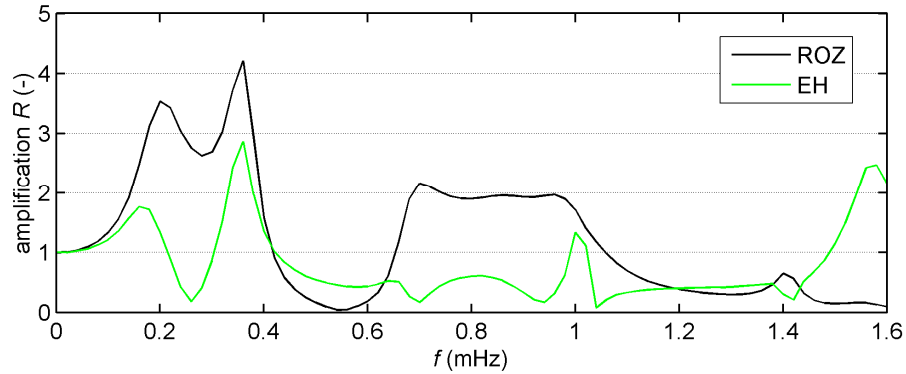


Figuur 2.3 Kansverdelingen van waterstanden met- en zonder seiche effect bij ROZ (blauwe en rode lijn). Het verschil tussen beide kansverdelingen is de kansverdeling van het seiche effect (groene lijn). Uit Deltares (2010a).

2.1.3 Vertaling naar HR locaties

Het seiche-effect bij ROZ zoals bepaald in de vorige stap geldt alleen voor de locatie ROZ en voor waterstanden binnen het bereik van de metingen. Voor de HR moet het effect op andere locaties en bij extreme omstandigheden bepaald worden. Een statistische extrapolatie naar extreme waterstanden is alleen geldig bij een homogeen proces en dat is hier niet het geval. Bij hogere waterstanden lopen kades onder waardoor demping optreedt. De seiche-amplitudes vallen hierdoor kleiner uit dan op grond van statistische extrapolatie verwacht zou worden. Daarnaast varieert de seiche-amplitude per locatie. Deze effecten worden in rekening gebracht bij de vertaling van seiche-amplitudes van ROZ naar de HR locaties.

De Looff (1994) beschrijft hoe de seiche-amplitude bij ROZ vertaald kan worden naar andere locaties met behulp van het model PHAROS. Dit model berekent hoe golven vanuit de monding de haven indringen en opslingeren in de verschillende havenbassins. PHAROS berekent op aangegeven uitvoerlocaties in de haven de amplitude van de golven bij verschillende frequenties f . De amplituderrespons op een inkomend signaal $S(f)$ noemen we het versterkingsspectrum $R(f)$. Bij hogere waterstanden lopen er kades onder. Hierdoor treedt dissipatie van golfenergie op. De golven die langs of tegen deze kades lopen worden gedempt. Dit effect wordt in PHAROS in rekening gebracht door reflectiecoëfficiënten kleiner dan 1. Voor de afleiding van deze coëfficiënten wordt in WT12006 verwezen naar vuistregels en een expert opinion beschreven door Veldman (1993). Recent heeft Deltares (2014) een alternatieve benadering gevolgd om deze coëfficiënten af te leiden in een studie voor de Nieuwe Zeesluis IJmuiden.



Figuur 2.4 Verstekingsspectra op locaties Rozenburgse Sluis (ROZ) en Europahaven (EH), berekend door PHAROS.

Voor de seiche-analyse wordt een continu spectrum $S(f)$ van aandrijvende krachten bij de havenmondning aangenomen. Door verstekingsspectra met elkaar te vergelijken kan een vertaling gemaakt worden van de seiche-amplitude bij ROZ naar andere locaties. De vertaling wordt uitgedrukt in een factor, r_x , die de sterkte van de seiche amplitudes op locatie x aangeeft ten opzichte van die op de referentielocatie ROZ. De factor r_x wordt berekend uit de verstekingsspectra R_x op de locatie x en R_{ref} op de referentielocatie ROZ en het aangeboden signaal bij de havenmondning S . Zowel R als S zijn afhankelijk van de frequentie van de golven f . Voor de factor r wordt de integraal over het gehele spectrum van frequenties genomen (0.1 – 1.6 mHz) om alle mogelijke resonanties mee te nemen:

$$r_x^2 = \frac{\int S(f) R_x^2(f) df}{\int S(f) R_{ref}^2(f) df} \quad (1.2)$$

2.1.4 Bepalen seiche-toeslagen

De laatste stap in de afleiding van de seiche-toeslagen voor WT12006/2011 is het combineren van het seiche effect uit stap 2 met de vertaalfactoren uit stap 3.

Voor WT12006 en 2011 zijn verstekingsspectra bij twee extreme waterstanden berekend: voor herhalingstijden 4000 en 10,000 jaar. De vertaalfactoren voor deze twee waterstanden worden vervolgens toegepast op het seiche-effect bij ROZ bij de twee corresponderende herhalingstijden. Zuiverder zou zijn om de vertaalfactoren toe te passen op de seiche-amplitude. De vertaalfactoren hangen immers af van de waterstand. Dit zou betekenen dat voor elke waterstand een aparte vertaalfactor moet worden bepaald, waarna de statistiek van het seiche-effect (formule 1 en groene lijn in Figuur 2.3) opnieuw moet worden afgeleid.

In de praktijk wordt aangenomen dat de vertaalfactor voor de $T=4000$ jaar waterstand geldig is voor alle waterstanden die relevant zijn voor het seiche effect bij die betreffende herhalingstijd (formule 1). Er wordt dus verwaarloosd dat voor andere waterstanden wellicht andere vertaalfactoren gelden. Het seiche effect wordt afgelezen van de groene lijn in Figuur 2.3 en vermenigvuldigd met de vertaalfactor voor de locatie waarvoor de toeslag moet worden berekend.

3 Onzekerheden

3.1 Rol van onzekerheden in WTI2017

Het WTI2017 biedt de mogelijkheid om epistemische onzekerheid (model- en statistische onzekerheid) als een extra stochast mee te nemen in de probabilistische berekening. De onnauwkeurigheid van een model wordt in deze benadering gezien als een kans op een modelresultaat, die gelijk behandeld wordt als de kans op vóórkomen van een storm. Om de modelonzekerheid op deze manier mee te nemen in de berekening dient deze als een kansverdeling rond de beste schatting van het modelresultaat beschreven te worden.

In dit geval is de seiche-toeslag het onzekere modelresultaat. De onzekerheid rondom de beste schatting van deze toeslag kan worden afgeleid door de stappen in de berekening na te gaan en telkens de onzekerheid te beoordelen. Dit is gedaan in eerdere onzekerheidsanalyses (Deltares, 2010b; Deltares en Arcadis, 2011 en Deltares, 2014). De bevindingen van die studies worden hieronder samengevat.

3.2 Resultaten van eerdere studies

De onzekerheid van het berekende seiche-effect is voor het eerst geanalyseerd in Deltares (2010b). Als belangrijkste bijdragen aan die onzekerheid werden genoemd:

- De relatief korte tijdreeksen waarop de statistische analyses zijn gebaseerd.
- De instellingen van het low-pass filter waarmee het seiche signaal wordt onderscheiden van de tragere waterstandsvariatiën
- De drempel in de POT analyse voor de selectie van seiche-events
- De onzekerheid van de lineaire regressie tussen seiche amplitude en waterstand
- De onzekerheid van de parameters in de Gamma kansverdeling
- Andere onzekerheden, waaronder de keuze van de Gammaverdeling en het lineaire verband met de waterstand

In Deltares (2010b) zijn bovenstaande onzekerheden geschat en gecombineerd in een totale onzekerheid van het berekende seiche effect voor ROZ. De totale onzekerheid van het berekende seiche effect bij ROZ kwam uit op ongeveer 25 %. Voor een gedetailleerde beschrijving van de onzekerheidsanalyse verwijzen we naar Deltares (2010b).

De vertaling van het seiche effect naar andere locaties met behulp van het versterkingsspectrum is in Deltares (2010b) niet beschouwd. Deze vertaling is echter een belangrijke onzekere factor. Het model (PHAROS), de vorm van het aanbodspectrum en de aannames in de vertalingsformule (2) zijn uiteraard niet vrij van onzekerheid. Voor het ontwerp van de nieuwe zeesluis in IJmuiden is in 2014 een studie uitgevoerd waarbij het seiche effect zoals bekend bij Rotterdam werd vertaald naar de haven van IJmuiden (locatie Noordersluis, NSL) volgens dezelfde principes als de vertaling van ROZ naar andere locaties in de Europoort (Deltares, 2014). Hierin is de onzekerheid van de vertaling uitgebreid onderzocht. Uit de analyse blijkt een onzekerheid van ongeveer 20% in het netto seiche-effect bij NSL. Binnen hetzelfde havenbekken zal de onzekerheid van de vertalingsfactoren minder groot zijn dan voor een vertaling van het seiche-effect bij locatie ROZ in Europoort naar een locatie in de haven van IJmuiden. Daarom wordt voor locaties binnen de Europoort een waarde van 15% aangehouden.

3.3 Conclusies

De totale onzekerheid van het seiche-effect is de combinatie van de eerder genoemde bijdragen aan de onzekerheid van 25% (in de referentiestatistiek) en 15% (in de vertaling naar andere locaties). Uitgaande van normaal verdeelde onafhankelijke bijdragen komt deze totale onzekerheid (één standaarddeviatie) uit op ongeveer 30% van het berekende seiches-effect. Deze waarden zijn schattingen op basis van de huidige stand van de kennis over het fenomeen seiches. Toekomstig onderzoek kan leiden tot bijstelling van deze onzekerheid.

4 Aanbevelingen

Voor het meenemen van het seiche effect in Hydra-Ring voor WTI2017 zijn in de inleiding drie mogelijke methoden genoemd:

- De seiches worden gemodelleerd als extra stochastische variabelen in de probabilistische berekening. Een seiche kan bijvoorbeeld beschreven worden met drie stochastische variabelen: maximale amplitude, duur en tijdstip van maximale amplitude
- Het seiche-effect wordt als een waterstand-afhankelijke toeslag toegepast over het volledige bereik van waterstandstatistiek
- Het seiche-effect wordt in rekening gebracht door middel van een vaste toeslag op de waterstand, waarbij een keuze wordt gemaakt tussen een van de huidige WTI toeslagen bij $T=4000$ en $T=10,000$ jaar.

Indien budget en planning het benodigde aanvullende onderzoek toelaten wordt de tweede aanpak aanbevolen.

De eerste aanpak biedt de meeste mogelijkheden om uiteindelijk ook het tijdsafhankelijke aspect van de seiches mee te nemen. De amplitude en het moment van het seiche maximum ten opzichte van de piek van het hoogwater kunnen variëren. De combinatie van getij, opzet en seiche leveren een tijdsafhankelijke waterstand op die gebruikt kan worden in diverse sterktemodellen. Echter, voor WTI2017 zal een tijdsafhankelijke waterstand nog niet gebruikt kunnen worden, omdat de betreffende faalmechanismen nog niet geïmplementeerd zijn in Hydra-Ring. Ook vergt deze aanpak aanvullend onderzoek naar de kansverdelingen van de seiche-gerelateerde stochasten.

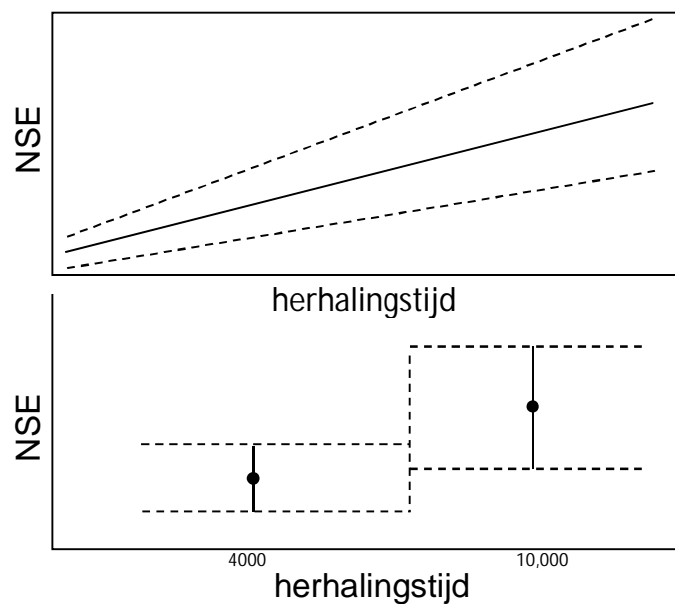
In de tweede en derde aanpak wordt alleen het verhogende effect van seiches op de waterstandstatistiek meegenomen. Als er voor de faalkansberekening toch een tijdsverloop nodig is, dan kan hiervoor een standaard patroon gebruikt kunnen worden. In Deltares (2012) is bijvoorbeeld voor het ontwerp van een sluis in het botlekgebied gekozen voor een verloop van een toenemende seiche-amplitude over 3 golfperioden gevolgd door een afname over 7 golfperioden.

In de tweede aanpak wordt het verhogende effect van seiches meegenomen over het volledige bereik van waterstanden en herhalingstijden. De aangepaste waterstandstatistiek wordt vervolgens op dezelfde wijze gebruikt in de probabilistische berekeningen. Om de correctie op de waterstandstatistiek af te leiden is echter een vertaling nodig van seiche-effecten bij ROZ naar andere locaties bij alle relevante waterstanden. Deze vertaling is tot nu toe alleen afgeleid voor waterstanden behorende bij herhalingstijden $T=4000$ en $T=10,000$ jaar. Met behulp van de recent in Deltares (2014) afgeleide formuleringen voor reflectiecoëfficiënten en een serie

PHAROS berekeningen bij verschillende waterstanden kan worden bepaald hoe de vertalingsfactoren over het volledige bereik aan waterstanden verlopen. Hiermee wordt een vertaling van de volledige statistiek van het seiche-effect bij ROZ naar andere locaties mogelijk (zie Figuur 4.1, bovenste paneel). Deze aanpak vereist een analyse van de dempingsfactoren bij verschillende waterstanden, een serie PHAROS berekeningen en een integratie van het seiche-effect over de waterstanden (formule 1).

De derde methode past de huidige toeslagen voor $T=4000$ en $T=10,000$ toe voor alle waterstanden en herhalingstijden (zie Figuur 4.1, onderste paneel). Afhankelijk van de herhalingstijd wordt een keuze gemaakt tussen één van beide toeslagen. Er wordt dus voorbij gegaan aan het feit dat de toeslag afhankelijk is van de herhalingstijd. Deze aanpak is daarmee feitelijk een deterministische implementatie binnen een probabilistisch raamwerk. Er hoeft voor deze methode geen aanvullend onderzoek plaats te vinden.

Ten aanzien van de onzekerheid wordt aanbevolen een normaal verdeelde stochastische onzekerheidsfactor op de seiche-toeslag te hanteren met een gemiddelde waarde van 1 en een standaarddeviatie van 0.3.



Figuur 4.1 Schematische weergave van meenemen van onzekerheid van de seiche toeslag. Methode 2 (boven) gebruikt de volledige verdeling van seiche effecten en bijbehorende onzekerheden. Methode 3 (onder) gebruikt slechts twee waarden (bij $T=4000$ en $10,000$ jaar) en de bijbehorende (30%) onzekerheden.

5 Referenties

Alkyon (2010), Actualisatie seiches Europoort, Tech. Report C04011.002451.

Deltares (2010a), Update of the seiche allowance for the Rotterdam Europoort area: WTI 2009/2010, input for the Hydraulic Boundary Conditions 2011. Report 1200103-052, authors: M.P.C. de Jong and J.A.M. de Bont).

Deltares (2010b), Uncertainty of wind statistics, storm surge duration and seiches, SBW Belastingen, 1200264-008 (authors: R. Roscoe, J. Beckers and A. Tijssen, analysis of uncertainty in seiche allowances by J. Beckers).

Deltares (2012), Invloed van seiches in het Botlekgebied, Rapport 1207032.001, auteurs: D. Wagenaar en M.P.C. de Jong.

Deltares (2014), Statistiek seiches buitenhaven IJmuiden voor ontwerp nieuwe zeesluis, Rapport 1209945-000-HYE-0002.

Deltares en Arcadis (2011), Modelinstrumentarium IJmuiden – Opzet en Calibratie, auteurs Deltares: J.J.A.M. van Os, A.C. Bijlsma, C. Gautier, M.P.C. de Jong, auteurs Arcadis: B. Grasmeijer, J. Adema, L. Perk, O. Koop, H. Veldman, F. Enet.

Jong, M.P.C. de (2004), Origin and prediction of seiches in Rotterdam harbour basins, Proefschrift TU Delft, ISBN 90-9017925-9.

Looff, A.P. de, (1994), Seiche berekeningen in het Eurpoortgebied: hoogwateroverschrijdingslijnen, inclusief seiche-invloeden, voor de situatie met verbinding naar het Hartelkanaal (open Beerdam) en Hartelkering bij Hartelbrug, RIKZ rapport 94.004.

Looff, H. de and J.J. Veldman (1994), Seiches in the port of Rotterdam during storm surges, Proc. Int. Symp. Waves-Physical and numerical modeling, Vancouver 1994.

Veldman, J.J. (1993), Europoortkering – seiches berekeningen in het kader van het project: Europoortkering met open Beerdam, Rapport H1409.10 (WL | Delft Hydraulics).